



PARAQUAT: Efectos sobre la biota e impactos en la salud humana

PNUD ARG/17/010 sobre el Fortalecimiento de las capacidades nacionales para el manejo de productos químicos y desechos



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible
Argentina

PNUD

PNUMA

RSA- CONICET

Ficha del ISBN

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD Argentina

Paraquat: Efectos sobre la biota e impactos en la salud humana: Proyecto PNUD ARG/17/010 sobre el Fortalecimiento de las capacidades nacionales para el manejo de productos químicos y desechos / 1a ed ilustrada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD; Red de Seguridad Alimentaria y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-48905-3-5

1. Medio Ambiente. I. Título.

CDD 363.70561

El presente informe ha sido realizado a solicitud del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación (MAyDS) en el marco de la ejecución del Proyecto PNUD ARG/17/010 sobre el Fortalecimiento de las capacidades nacionales para el manejo de productos químicos y desechos.

El análisis y las recomendaciones de políticas de esta publicación no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva o de sus Estados Miembro.

Todos los derechos están reservados. Ni esta publicación ni partes de ella pueden ser reproducidas mediante cualquier sistema o transmitidas en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin permiso escrito previo del editor.

Hecho el depósito que establece la Ley N° 11723

Copyright © Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2023

Esmeralda 130, Piso 13, C1035A8D

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

www.pnud.org.ar



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible
Argentina





RSA-CONICET
Red de Seguridad Alimentaria del CONICET

“**PARAQUAT: Efectos sobre la biota e impactos en la salud humana**”

INFORME PARAQUAT: TERCER REPORTE DE PROGRESO



GRUPO AD HOC “*Paraquat-Acetoclor*”

Red de Seguridad Alimentaria
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

ARGENTINA, 21 DE DICIEMBRE DE 2020

ISBN 6697_9789874890535



ÍNDICE

Item	Página
1- Descripción de la solicitud	5
2- Conformación del grupo ad-hoc	8
Staff	9
ACTIVIDADES DESARROLLADAS	
3-Metodología de selección de trabajos técnico-científicos sobre Paraquat a incluir en cada informe	10
3.1. Categorías establecidas a priori	11
3.2. Relevamiento de trabajos técnico-científicos	13
3.3. Elaboración de tablas para el relevamiento de la información que se extrae de cada trabajo técnico-científico	14
4. Caracterización de la sustancia: PARAQUAT	15
4.1. Identificación y caracterización del paraquat	15
4.2. Propiedades físico-químicas de la sustancia pura	16
4.3. Principales metabolitos de degradación	17
4.4. Tipos de formulaciones y concentraciones	18
4.4.1. Nombre comercial de los productos y de sus productores	18
4.5. Información sobre su clasificación en cuanto a peligros	21
4.5.1. Clasificación toxicológica de las formulaciones comerciales de PARAQUAT registradas en Argentina	21
4.5.2. Propiedades ecotoxicológicas	27
4.5.3. Clasificación de Seguridad y Peligro del paraquat	29
5. Aplicaciones y/o usos	
5.1. Marcos reglamentarios vigentes, incluyendo uso autorizado, restringido y/o su prohibición (en Argentina / a nivel Internacional)	30
5.2. Tecnologías de aplicación (dosis, metodologías de aplicaciones aéreas/terrestres, cultivos en los que se aplica, momentos de aplicación)	31
5.3. Desvíos de uso en Argentina	35

“Paraquat”

6. Estimación de la cantidad de producto producido, importado, exportado y utilizado	36
7. Dinámica ambiental considerando sus fuentes y reservorios	40
7.1. Liberación no controlada desde la cadena productiva	40
7.2. Niveles de paraquat registrados en distintas matrices (Argentina).	41
7.2.1. Concentraciones ambientales de paraquat en agua superficial, sedimentos, agua de lluvia y agua subterránea	41
7.2.2. Concentraciones ambientales de paraquat en suelo /sedimento	42
7.2.3. Concentraciones ambientales de paraquat en Aire	42
7.2.4. Concentraciones ambientales de paraquat en Biota	42
7.2.5. Residuos de atrazina en alimentos (permitidos según SENASA, registrados en alimentos)	42
7.3. Comportamiento Ambiental de la paraquat	49
7.3.1. Movilidad en suelo, agua, aire y biota	49
7.3.1.1. Comportamiento en la atmósfera	50
7.3.1.2. Comportamiento en el suelo	51
7.3.1.3. Comportamiento en el medio acuático	55
8. Efectos sobre la biota	
8.1. Efectos en vertebrados acuáticos y terrestres	57
8.1.1. Vertebrados acuáticos	57
8.1.2. Vertebrados terrestres	62
8.2. Efectos en invertebrados acuáticos y terrestres	63
8.2.1. Invertebrados acuáticos	63
8.2.2. Invertebrados terrestres	64
8.3. Microorganismos	64
8.4. Algas, vegetales acuáticos y terrestres	68
8.5. Efectos sobre comunidades acuáticas y terrestres (micro-mesocosmo-campo)	68

“Paraquat”

8.6. Efectos en animales de laboratorio extrapolables al hombre	68
8.7. Bioacumulación y biomagnificación en las cadenas tróficas acuáticas y terrestres	102
9. Impactos en la salud humana	
9.1. Efectos en humanos (casos de intoxicaciones documentadas)	103
9.2. Relevamiento de estudios epidemiológicos (Arg. / Int.)	118
9.2.1. Evidencia Nacional	119
9.2.2. Evidencia Internacional	119
10. Relevamiento de peligros y riesgos en la salud humana y el ambiente	
10.1. Relevamiento de estudios sobre análisis de riesgo en la salud humana previamente realizados (Arg. / Int.)	131
10.2. Relevamiento de estudios sobre análisis de riesgo ecotoxicológico previamente realizados (Arg. / Int.)	135
10.3. Efectos sinérgicos con otras sustancias de uso frecuente. Relevamiento de evaluaciones de Riesgo de las mezclas	137
11. Marcos reglamentarios vigentes (Arg. / Int.)	
11.1. Niveles de referencia nacionales e internacionales propuestos para la protección de la salud humana y de la biota acuática.	138
11.2. Acuerdos de restricción y/o prohibición	142
11.3. Otra información de relevancia (países que no aceptan residuos de las sustancias propuestas. Estados de uso y prohibición en el mundo: Comunidad Económica Europea, EEUU, países asiáticos, otros (LMR de países compradores).	142
12. Bibliografía	142
13. ANEXO	157
Tabla A1: Empresas que tienen registrada en Argentina, formulaciones comerciales de Paraquat	157
Tabla A2: Concentraciones de paraquat en distintos compartimientos ambientales	162
Tabla A3: Efectos de paraquat en estudios de laboratorio	
Tabla A4: Efectos de paraquat en salud humana	

TERCER REPORTE DE PROGRESO

“PARAQUAT: Efectos sobre la biota e impactos en la salud humana”

1- DESCRIPCIÓN DE LA SOLICITUD

A continuación, se detalla la solicitud realizada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, a través de la Dirección Nacional de Sustancias y Productos Químicos dependiente de la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental, a la Red de Seguridad Alimentaria (RSA-CONICET):

El actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, a través de la Dirección Nacional de Sustancias y Productos Químicos dependiente de la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental, inició en octubre de 2017 la ejecución del Proyecto PNUD ARG/17/010, “Programa Especial para el Fortalecimiento de las Capacidades Nacionales para el Manejo de Químicos y Desechos.”

Para cumplir con los objetivos propuestos en el documento del proyecto, se estableció como una de las actividades principales (Actividad 5), la generación de Instrumentos técnicos y normativos para la gestión de los productos químicos y sus desechos.

Entendiendo la situación nacional en relación con el uso creciente de agroquímicos y a sus efectos sobre la salud de los organismos y los ecosistemas, se considera imprescindible, la recopilación de información actualizada sobre los usos actuales y los efectos de ciertas sustancias químicas.

A tal efecto, se solicita a la Red de Seguridad Alimentaria (RSA-CONICET) la elaboración de tres informes científico-técnicos sobre los herbicidas ATRAZINA, PARAQUAT y ACETOCLOR, de amplio uso en Argentina, que son de importancia para la salud humana y el ambiente, debido a su alta peligrosidad, y a su posible inclusión en los convenios internacionales. De esta manera, los productos elaborados contribuirán a la toma de decisiones por parte de las autoridades de aplicación.”

Contenido

Cada informe técnico deberá contener como mínimo la información detallada a continuación, con el objetivo de que la misma sea considerada por los tomadores de decisiones con relación a los usos actuales de las sustancias elegidas:

- Metodología de selección de trabajos científicos previos sobre la sustancia a incluir en el informe.

“Paraquat”

- *Caracterización de la sustancia: Nombre común, nombre IUPAC, Número de CAS, propiedades físico-químicas de la sustancia, información sobre su clasificación en cuanto a peligros, propiedades toxicológicas y ecotoxicológicas, tipos de formulaciones y concentraciones, principales metabolitos de degradación, nombre comercial de los productos y de sus productores, metodologías empleadas de aplicación y/o uso, medidas reglamentarias vigentes sobre uso autorizado y/o su prohibición, estimación de la cantidad de producto producido, importado, exportado y utilizado, dinámica ambiental considerando sus fuentes y reservorios, liberación no controlada desde la cadena productiva.*
- *Datos de relevamiento que incluyan registros de concentraciones ambientalmente relevantes en distintas matrices (agua, suelo, biota y aire) y sus potenciales efectos sobre la biota. Información sobre bioacumulación y biomagnificación en las cadenas tróficas. Se utilizarán datos de investigaciones realizadas en el país. En los casos en los que no haya información a nivel nacional, podrán emplearse trabajos científicos internacionales, pero deberá de estar justificada su elección.*
- *Usos permitidos y no permitidos (sin registro oficial para su uso primario): evaluación de los usos actuales permitidos, restringidos y/o prohibidos.*
- *Efectos sobre los seres vivos: efectos y daños en especies acuáticas, terrestres y aquellas que se desplazan por el aire, impactos en la salud humana y efectos en mamíferos no humanos. Estudios epidemiológicos que sustenten la elección y que sean de Argentina, argentinos o de otros países. Descripción de incidentes en el país, si los hubiese, relacionados con la sustancia, incluidos los efectos adversos y el modo en que se utilizó la formulación de uso comercial disponible.*
- *Relevamiento de estudios sobre análisis de riesgo previamente realizados. Efectos sinérgicos con otras sustancias de uso frecuente.*
- *Otra información de relevancia como: países que no aceptan residuos de las sustancias propuestas. Estados de uso y prohibición en el mundo: Comunidad Económica Europea, EEUU, países asiáticos, otros (LMR de países compradores).*
- *Niveles de referencia nacionales e internacionales propuestos para la protección de la salud humana y de la biota acuática.*
- *Recomendaciones y propuestas: lecciones aprendidas y acciones futuras a implementar para minimizar el efecto de los herbicidas, objeto del presente informe.*

Para ello se pretende la producción de informes técnicos basados en evidencia científica con grupos académicos de prestigio que resulten en herramientas de valor para los tomadores de decisiones políticas.

“Paraquat”

Por lo tanto, en cada informe se pretende que se reúnan, examinen y sintetizen trabajos técnicos y científicos y finalmente se realice una revisión crítica integral de la información disponible y actualizada, identificando vacíos de información relevante. Además, como uno de los productos que se incluirá en cada uno de dichos informes, los equipos propondrán recomendaciones en el caso que el estado del conocimiento sobre uno o más aspectos del comportamiento ambiental, los usos/aplicaciones, la toxicología y la ecotoxicología de los plaguicidas evaluados sea insuficiente para elaborar conclusiones preliminares o finales.

2- CONFORMACIÓN DEL GRUPO AD HOC “Paraquat-Acetoclor”

Coordinadores grupo *ad hoc*:

- **Dr. Julio Fuchs.** Profesional Principal, Laboratorio de Biosensores y Bioanálisis (LABB), IQUBICEN-CONICET. Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad de Buenos Aires (UBA). Prof. Adj. UJFK. Especialista en Ecotoxicología Terrestre y Evaluación de Riesgo.
- **Dra. Karina S.B. Miglioranza.** Investigadora Principal CONICET. Lab. Ecotoxicología y Contaminación Ambiental. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), CONICET-FCEyN, UNMdP, Mar del Plata. Especialista en Química Ambiental y Ecotoxicología.
- **Dr. Marcelo Wolansky.** Investigador Independiente CONICET. Laboratorio de Toxicología de Mezclas Químicas, Instituto de Química Biológica, IQUBICEN (CONICET). Prof. Adj, FCEyN, UBA. Ciudad de Buenos Aires. Especialista en Toxicidad de Mezclas de Plaguicidas en Poblaciones Vulnerables.

Integrantes grupo *ad hoc*:

- **Dra. C. M. Julie Brodeur.** Investigadora Independiente CONICET. Instituto de Recursos Biológicos, Centro de Investigaciones en Recursos Naturales, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INTA.
- **Dra. Mariana Butinoff.** Docente e Investigadora. Laboratorio de Epidemiología Ambiental del Cáncer y otras Enfermedades Crónicas. Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Córdoba.
- **Dr. Eduardo De Gerónimo.** Investigador INTA/Investigador Asistente CONICET. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-EEA Balcarce/UNMdP. Especialista en Química Analítica Ambiental.
- **Dra. Sonia Soloneski.** Investigadora Independiente CONICET. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Especialista en Genética Toxicológica y Riesgo Ambiental.

STAFF
Red de Seguridad Alimentaria
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Dirección

Carlos van Gelderen

Coordinación General (CG)

Javier Pardo

Coordinador asistente

María Durrieu

Consejo Directivo (CD)

CIVETAN (Centro de Investigación Veterinaria de Tandil) – Fac. Cs. Veterinarias UNCPBA.
Laura Moreno Torrejón - Paula Lucchesi

ICIVET – LITORAL (Inst. de Ciencias Veterinarias del Litoral) – Fac. Cs Veterinarias UNL.
Laureano Frizzo - Lorena Soto

IGEVET (Inst. de Genética Veterinaria “Ing Fernando Noel Dulout”) – Fac. Cs. Veterinarias UNLP.
Gerardo Leotta - Lucia Galli

INPA (Inst. de Investigaciones en Producción Animal) – Fac. Cs. Veterinarias UBA.
Alicia Fernández Cirelli - Alejandra V. Volpedo

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria)
Ricardo Rodríguez - Dante Bueno

ACTIVIDADES DESARROLLADAS

3. Metodología de selección de trabajos técnico-científicos sobre Paraquat a incluir en cada informe

Los integrantes de cada equipo de trabajo interactuaron durante el mes de Septiembre 2020 por medio de reuniones virtuales por subgrupos y en 4 oportunidades, por medio de teleconferencias virtuales donde estuvieron presentes la mayoría o la totalidad de los integrantes de los equipos.

Para establecer los criterios de aptitud en función de la pertinencia y rigurosidad científica de los documentos que son utilizados para la elaboración del informe, primero se consideró en forma preliminar la disponibilidad y suficiencia de las fuentes de información privadas, oficiales, sectoriales o multilaterales nacionales e internacionales para cada aspecto toxicológico y ecotoxicológico a analizarse. Siguiendo las recomendaciones del solicitante de los informes (Ministerio de Ambiente) se priorizó el relevamiento y análisis de la información ambiental, ecotoxicológica y epidemiológica-sanitaria relativa al uso de estos herbicidas en Argentina, y en el caso que los datos disponibles para Argentina fueran insuficientes para elaborar conclusiones, se recurrirá a bases de datos regionales y/o internacionales.

Luego se acordó por consenso qué tipo de trabajos serán relevados, incluidos y examinados como evidencia técnica y/o científica válida, cuáles trabajos no serán relevados ni considerados y en qué casos se incluirían trabajos por vía de excepción, luego de acuerdo por unanimidad, consenso o mayoría simple, según sea el caso. Además, si alguno de los documentos resultara de categorización ambigua respecto a su calidad académica/científica por parte de los integrantes del equipo, se someterá a discusión para definir su inclusión o exclusión dentro de cada equipo de trabajo.

En el caso de incluirse documentos técnicos y/o científicos que no cumplan con las condiciones de las categorías 1-2-3-4 (ver la descripción más abajo), la justificación de la pertinencia y utilidad para elaborar conclusiones y recomendaciones basadas en la evidencia científica será explícitamente establecida en el informe en la modalidad caso-por-caso.

Los mismos criterios de categorización de relevancia, pertinencia, validez y rigurosidad científica de los documentos encontrados y considerados serán aplicados para todos los aspectos revisados: caracterización de la sustancia (propiedades fisicoquímicas; estabilidad, movilidad y

“Paraquat”

patrones de disipación en el ambiente aéreo, terrestre y acuático, según corresponda), metodología de uso/aplicación, datos de monitoreos, usos permitidos y no permitidos, efectos sobre los seres vivos (salud humana y ambiental), estimación de magnitud de la exposición, peligro y riesgo, *status* de los registros de uso en las Autoridades Regulatorias de Argentina y a nivel internacional.

3.1. CATEGORÍAS ESTABLECIDAS *a priori*

Categoría C 1

- Publicaciones técnicas y científicas de revistas indexadas nacionales o internacionales; libros o capítulos de libros con proceso de aceptación de evaluación por pares. Este grupo de documentos incluirá: Comunicaciones Cortas, Artículos de Investigación Original, Relevamientos, Revisiones Temáticas, Resúmenes Extendidos de Presentaciones en Congresos Nacionales e Internacionales.
- Documentos oficiales – Comités de expertos de organismos públicos internacionales y sociedades científicas reconocidas de países de alta vigilancia ambiental y epidemiológica (principalmente EEUU, Canadá, Japón, UE, Reino Unido, Australia) oficiales, entes internacionales para los temas específicos a tratar (MINCYT, CONICET, CICPBA, *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, *Society of Toxicology*, *Society for Risk Analysis*, INTA, INTI, INA, Min. Ambiente, MINSAL, ANMAT, RSA-CONAL, WHO, PAHO, FAO/Codex, USEPA, OECD, EFSA, ECHA, entre otros).
- Informes elaborados por otros grupos académicos, científicos, agroeconómicos, multilaterales y ONGs (Asociación Toxicológica Argentina, Sociedad de Toxicología y Química Ambiental-ARG, Sociedad Iberoamericana de Salud Ambiental, International Institute of Life Sciences [ILSI Internacional], ILSI Argentina, Colegios de Agrónomos Provinciales, Oficinas de Gobierno Municipales, Provinciales o Regionales de las Áreas Salud, Ambiente, Economía-Aduanas, Agricultura, Seguridad y Desarrollo Social, Cámaras y Corporaciones del sector privado, otros a considerar; cuando al menos la mitad de los firmantes pertenezcan a Instituciones técnico-científicas, Universidades Nacionales, etc.

“Paraquat”

A los efectos de la construcción de una base de datos (sistema en línea Mendeley, de administración y/o repositorio de bibliografía) los documentos se subdividirán en:

- 1-A. (ARGENTINA): cuando la información de peligro, exposición y riesgo presente en el documento sea referente a nuestro país.
- 1-I. (INTERNACIONAL): cuando la información de peligro, exposición y riesgo sea referente a otros países.

Categoría: C 2

- Publicaciones técnicas y científicas de revistas sin proceso de evaluación por pares, pero que incluyan detalles metodológicos completos y no se presente evidencia de no validez o ambigüedad.
 - Compilaciones de comunicaciones en congresos con resumen extendido (presentaciones orales y/o posters completos) que incluyan un grado avanzado de detalles metodológicos.
 - Tesis* de grado y post-grado. *Nota: generalmente se encuentran incluídas en una base de datos de acceso libre-público una vez que ha pasado un cierto tiempo para la publicación de los resultados principales.
 - Libros o capítulos de libros sin proceso de evaluación por pares (por invitación), siempre y cuando se justifique su relevancia, pertinencia y haya suficiente información para considerar su validez.
- 2-A. (ARGENTINA)
 - 2-I. (INTERNACIONAL)

Categoría: C 3

- Otras publicaciones, boletines no indizados y/o sin revisión por pares (revistas varias de organismos públicos y privados, Universidades Nacionales).

“Paraquat”

- Artículos de divulgación científica (tales como: Revistas *Investigación y Ciencia*; *Drug Discovery Today*; *Waste Magazine*; *Revistas Ciencias de la Salud y Ciencia agraria* y otras), cuando los contenidos del artículo queden respaldados por documentos de las Categorías C1-C2.
 - 3-A. (ARGENTINA)
 - 3-I. (INTERNACIONAL)

Categoría: C 4

- **Resúmenes breves de congresos nacionales y/o internacionales.** Estos documentos podrán pasar a la categoría **C3** más como excepción que como regla y sólo en el caso por el cual para ese tópico/tema no haya una masa crítica de documentos de grupos C1-C2-C3. En todos los casos, si llegara a incluirse información de documentos de clase C4 en la elaboración de conclusiones preliminares o finales, se explicitará y justificará su inclusión en función de su relevancia, pertinencia, utilidad y validez.

3.2. Relevamiento de trabajos técnico-científicos

En relación al objetivo del primer informe de avance sobre “Relevamiento y metodología de selección de trabajos técnico-científicos previos” se realizó una búsqueda de información sobre antecedentes bibliográficos en relación a las propiedades fisicoquímicas, los usos, el comportamiento ambiental, los efectos y el riesgo para el ambiente y la salud humana de los herbicidas acetoclor y Paraquat.

De manera de sistematizar la información relevada, los trabajos encontrados fueron incluídos en la base de datos bibliográfica “Mendeley”, en adelante la “Base”. Dicha herramienta fue seleccionada dado que es gratuita, los documentos quedan almacenados en la nube y pueden ser gestionados tanto de forma “online” como a través de una aplicación de escritorio. La Base puede luego ser exportada a otros repositorios bibliográficos si ello fuera necesario. El acceso a la base en línea se hace a través del link: <https://www.mendeley.com/> vía el grupo privado denominado “CONICET-GIAH-ATZ” y creado a tal fin. Para ello se debe solicitar la autorización correspondiente a un administrador que por el momento es un miembro del Grupo Ad-hoc.

“Paraquat”

Finalizado el informe, la administración de la Base será transferida a un miembro del Ministerio quién podrá decidir si mantiene o cambia el nombre del grupo o si exporta la Base a otro sistema dando de baja el Grupo.

Los trabajos cargados en la Base se separaron en tres carpetas, uno para cada herbicida y se clasificaron utilizando los tipos de documentos que por defecto contempla la herramienta (ej. artículos de revistas científicas, libros, capítulos de libro, tesis, etc.). Además, se generaron subcarpetas las cuales a su vez se dividieron según se trate de estudios sobre características fisicoquímicas, distribución ambiental, efectos biológicos, salud humana, etc.

De acuerdo a los criterios de calidad/confiabilidad de la información explicados previamente, cada trabajo es clasificado como 1-A y 1-I, 2-A y 2-I, 3-A y 3-I, 4-A y 4-I a medida que se incorpora en la base de datos.

Hasta el momento, la base cuenta con 160 documentos cargados referidos a Paraquat. La Base se podrá seguir alimentando durante la elaboración de los informes subsiguientes.

Los datos más relevantes publicados en aquellos trabajos realizados en regiones o especies locales de Argentina serán volcados en bases de datos temáticas (ej. comportamiento ambiental, concentraciones ambientales, efectos ecotoxicológicos, efectos salud humana, etc.) construidas en Excel.

3.3. Elaboración de tablas para el relevamiento de la información que se extrae de cada trabajo técnico-científico

El Anexo I contiene/contendrá las tablas que muestran relevamientos o sintetizan la información relacionada a datos puntuales sobre i) niveles de contaminantes (Paraquat) en matrices ambientales, ii y iii) efectos sobre la biota en estudios de laboratorio y a campo, y iv) efectos en mamíferos extrapolables a humanos.

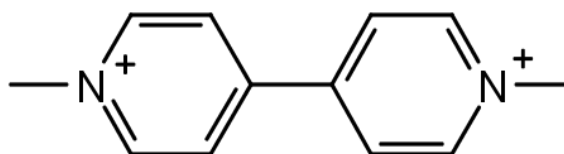
“Paraquat”

4. Caracterización de la sustancia: PARAQUAT

4.1. Identificación y caracterización de la sustancia

El Paraquat es el nombre comercial del dicloruro de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo, es un principio activo del grupo de los bipyridilos. El paraquat es usado como un herbicida cuaternario de amonio no selectivo de amplio espectro que actúa por contacto, es decir, no se trasloca sino que afecta al órgano verde cuya superficie resulta asperjada. Se lo emplea como herbicida de amplio espectro para controlar malezas o bien como desecante/defoliante de cultivos.

Estructura Química (ión)



Fórmula molecular

$C_{12}H_{14}N_2^{+2}$ (catión)
 $C_{12}H_{14}N_2Cl_2$ (dicloruro)
 $C_{12}H_{14}N_2[CH_3SO_4]_2$ (dimetilsulfato)

Nombre común

Paraquat

Nombre químico (IUPAC)

1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo (catión)
Dicloruro de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo (sal)
Dimetilsulfato de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo (sal)

Número CAS

4685-14-7 (paraquat catión)
1910-42-5 (paraquat, sintetizado como sal orgánica de dicloruro)
2074-50-2 (paraquat, sintetizado como sal orgánica de dimetilsulfato)

Masa Molar

186,2 g/mol (catión)
257,2 g/mol (dicloruro)
408,5 g/mol (dimetilsulfato)

“Paraquat”

4.2. Propiedades físico-químicas de la sustancia

Paraquat también se lo denomina un compuesto *viológeno* (metil-viológeno en este caso; <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Paraquat-dichloride>), en base a su estructura de tipo sal de 1,1'-dialquil-4,4'-bipiridilo. Se han caracterizado propiedades químicas y toxicológicas (en rata) similares en este grupo de compuestos sintéticos a lo largo de varias décadas. El estudio de las relaciones estructura-actividad en esta familia de compuestos alquil-viológenos ha permitido desarrollar una amplia diversidad de productos, entre ellos herbicidas (Ross and Krieger, 1980).

La Tabla 1 resume las propiedades físico-químicas del Paraquat.

Tabla 1: Caracterización físico-química del Paraquat.

Propiedad	Valor
Apariencia	Sólidos cristalino blanco (sales puras) o amarillento (productos técnicos), inodoros, higroscópicos. (Kennedy G.L., 1999; Lewis, R.J., 2007)
Densidad relativa a 20 °C	1,24 – 1,26 (WHO 1984; Dinis-Oliveira et al., 2008)
Punto de fusión	No medible. Las sales puras se descomponen a ~300 °C formando vapores venenosos de óxidos nítricos (Dinis-Oliveira et al., 2008; Lewis R.J., 2004)
Punto de ebullición	No medible. Las sales puras se descomponen a ~300 °C formando vapores venenosos de óxidos nítricos (Dinis-Oliveira et al., 2008; Lewis R.J., 2004)
Solubilidad en agua a 20 °C	620 g/L (Hornsby et al., 1996; Macbean C., 2008). 700 g/L (WHO 1984; Dinis-Oliveira et al. 2008)
Presión de vapor a 25 °C	< 1x10 ⁻⁷ mm Hg (Lock E.A. y Wilks M.F., 2010)
Coefficiente de reparto octanol/agua (log Kow) a 20 °C	-4.22 a pH 7,4 (Platford R.F., 1983)
Constante de Henry a 25 °C	3.0x10 ⁻¹⁴ atm m ³ mol ⁻¹ (US EPA 2012)
Constante de disociación	El ion de Paraquat no se disocia
Estabilidad	Mayor a 14 días a 54 °C. Estable en medios ácidos y neutros. Hidroliza en medios alcalinos. (WHO 1984)
Degradación fotoquímica en agua	Estable a pH ácido y neutro. Hidroliza fácilmente en medio alcalino (WHO 1984)

“Paraquat”

El principio activo del Paraquat es un sólido cristalino blanco no volátil que se funde y descompone a 300° C. Muy soluble en agua, e insoluble en solventes orgánicos. Se lo sintetiza y formula como sal dicloruro de Paraquat, o como sal de dimetilsulfato (PubChem, 2020).

Mecanismo de acción del Paraquat:

Su acción herbicida es por contacto. Luego de entrar en contacto con las plantas, su movilidad es de escasa a nula y destruye los tejidos del follaje (hojas y tallos no lignificados) en el sitio donde impacta la gota del asperjado. Necesita de la fotosíntesis activa para manifestar su efecto herbicida, que se caracteriza por el colapso de la estructura celular y desecación. Actúa a nivel del fotosistema I donde sustituye a la ferredoxina como un aceptor de electrones provenientes del fotosistema II. Los electrones captados en el fotosistema I son cedidos al agua dando como producto peróxido de hidrógeno que destruye el plasmalema generando necrosis en los tejidos foliares. En presencia de luz y con temperaturas templadas actúa muy rápidamente (en unas pocas horas). Esa rápida acción es la que impide su movilidad; prácticamente no se metaboliza en la planta (Brown et al. 2004; Syngenta, 2020).

El Paraquat tiene alta persistencia en el suelo. En estudios de campo se han estimado valores variables de tiempo de disipación 50 (DT₅₀) en el rango 7-8 años (PPDB, Hertfordshire University, 2020), y 10-20 años (FAO, 2011). La variabilidad en DT50 está probablemente relacionada a los tipos de suelo y las otras condiciones que influyen la ocurrencia de este herbicida luego de su liberación al ambiente durante las prácticas agronómicas. Además, su persistencia en el suelo no implica actividad residual. No se considera bioactivo a nivel del suelo (o desde el suelo) ya que es una molécula fuertemente polar (catión) que se adsorbe irreversiblemente a los coloides del suelo (Syngenta, 2020).

4.3. Principales metabolitos de degradación

No se ha demostrado metabolismo de Paraquat debido a que no se absorbe bien cuando se administra por vía oral. En experimentos con ratas se vio que más de la mitad de la dosis de ingesta (60-70%) se eliminó en las heces y una pequeña proporción (10-20%) en orina. Mientras que algunos estudios no han demostrado la presencia de ningún metabolito después de la administración oral de Paraquat, otros han reportado un pequeño grado de metabolismo probablemente en intestino como resultado de la degradación microbiana.

“Paraquat”

(<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/15939#section=Mechanism-of-Action>). Se ha publicado degradación fotolítica y por microorganismos, siendo detallada en la Figura 1, siendo los principales productos intermedios el 4-carboxi-1-metilpiridinio y Metilamina.

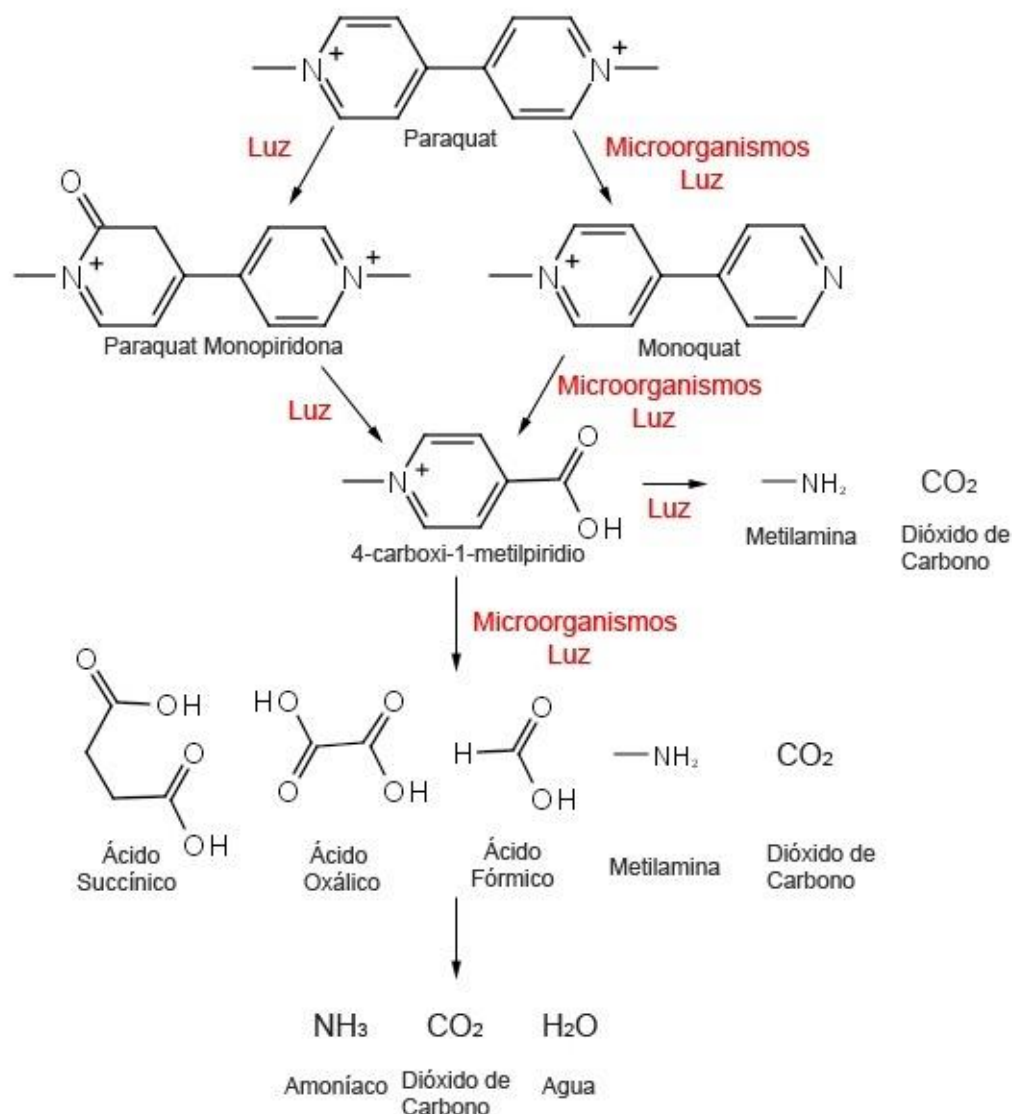


Figura 1. Degradación microbiana y fotolítica del Paraquat en el ambiente (adaptado de Huang Y., 2019).

4.4. Tipos de formulaciones y concentraciones

4.4.1. Nombre comercial de los productos y de sus productores

“Paraquat”

Según las bases de datos de SENASA actualizadas en Argentina, existen 22 registros activos de productos fitosanitarios para el ingrediente activo Paraquat (Tabla 2, cita: www.senasa.gov.ar). La gran mayoría de las empresas fabricantes tienen sus plantas de síntesis y formulación fuera del país. Los registros de comercialización vigentes fueron aprobados entre 2005 y 2019 para Paraquat. Las concentraciones informadas en el registro son 36-46 g/L.

Tabla 2: Principios activos de Paraquat, país de origen y concentraciones expresadas como g/L.

PRINCIPIO ACTIVO	EMPRESA REGISTRANTE	ORIGEN	CONCENTRACIÓN g/L
PARAQUAT	SYNGENTA AGRO S.A.	INGLATERRA	36,2
PARAQUAT	SYNGENTA AGRO S.A.	BRASIL	36,2
PARAQUAT	BIESTERFELD ARGENTINA S.A.	CHINA	42
PARAQUAT	DVA AGRO GMBH	CHINA	42
PARAQUAT DICLORURO	HELM ARGENTINA S.R.L.	CHINA	42
PARAQUAT DICLORURO	STOCKTON S.A.	CHINA	44,2
PARAQUAT DICLORURO	SYNTECH RESEARCH S.R.L.	TAIWAN	45
PARAQUAT DICLORURO	ADAMA ARGENTINA S.A.	CHINA	44,5
PARAQUAT DICLORURO	RAINBOW AGROSCIENSES S.A.	CHINA	42
PARAQUAT DICLORURO	SHARDA CROP-CHEM LIMITED SUC. EMP.EXT.	CHINA	42
PARAQUAT DICLORURO	RED SURCOS S.A.	CHINA	42
PARAQUAT DICLORURO	RED SURCOS S.A.	CHINA	43
PARAQUAT DICLORURO	GRUPO AGROS S.A.	CHINA	44,2
PARAQUAT DICLORURO	GENBRA ARGENTINA S.A.	CHINA	45
PARAQUAT DICLORURO	AAGROCO S.A.	CHINA	44,2
PARAQUAT DICLORURO	SINER S.A.	CHINA	42
PARAQUAT DICLORURO	AGRARIA 54 S.R.L.	CHINA	46,2
PARAQUAT DICLORURO	AGROCAC S.R.L.	CHINA	44,2
PARAQUAT DICLORURO	SIGMA AGRO S.A.	CHINA	45

“Paraquat”

PARAQUAT DICLORURO	EFEL S.A.S.	CHINA	45
PARAQUAT DICLORURO	ROTAM DE ARGENTINA AGROQUIMICA S.R.L.	CHINA	44,2
PARAQUAT DICLORURO	PILARQUIM ARGENTINA S.R.L.	CHINA	45

El principio activo Paraquat se comercializa en nuestro país y a nivel internacional como producto agroquímico herbicida en una amplia diversidad de formulaciones, presentaciones y marcas (ver Tabla 2).

En la Argentina, diversas empresas poseen registros ante SENASA de la sustancia activa grado técnico Paraquat o del dicloruro de Paraquat. En cuanto a los países productores del herbicida que son importados a Argentina podemos mencionar, en primer lugar, China con el 85% de la producción, seguido de Inglaterra, Brasil y Taiwán con el 4,5% de la producción en cada uno de ellos.

Según el registro de SENASA de las 98 formulaciones comerciales disponibles en Argentina, 53 de las mismas presentan en su composición al ion Paraquat (grado técnico, CAS 4685-14-7) y 45 formulaciones corresponden a Paraquat como sal de dicloruro (CAS 1910-42-5). Además, Paraquat se comercializa en combinación con el herbicida diurón formando parte de varios formulados tales como Cerillo®, Rainquat Plus, Dalong, Tecnoquat Plud y Comquat los cuales poseen concentraciones variables del principio activo de entre 36 y 46 g/L.

En Argentina se informa que la alternativa más frecuente es la sal dicloruro. Los formulados pueden contener ingredientes no activos, como por ejemplo surfactantes (ver detalle de composición más abajo). La clasificación de peligrosidad para salud humana-ambiental establecida por SENASA es II-III según el formulado (ver más detalles en secciones siguientes).

En cuanto al registro de los productos formulados en SENASA en base a Paraquat grado técnico o Paraquat dicloruro se encuentran disponibles 98 productos comerciales en el mercado argentino con diferentes concentraciones y tipos de formulaciones (SENASA, 2019).

La Tabla A1, ANEXO muestra las presentaciones comerciales disponibles para su uso.

“Paraquat”

La formulación comercial más utilizada es Gramoxone® Super (27,6 g de principio activo por L de formulado) comercializada por Syngenta Agro S. A. (<https://www.syngenta.com.ar/product/crop-protection/herbicida-no-selectivo-defoliante-desecante/gramoxone-super>). Se ofrece en el mercado como herbicida post-emergente defoliante y desecante que actúa por contacto sobre el follaje o en las partes verdes de las plantas. La presentación comercial de Gramoxone® Super consiste de un concentrado soluble formulado para ser aplicado con equipos manuales, terrestres y aéreos. Formulados de este tipo pueden aplicarse solos o en combinación con otros herbicidas.

Durante el 2019 no se comercializo formulaciones conteniendo el dimetilsulfato de Paraquat.

La mayoría de las formulaciones de Paraquat utilizadas en Argentina se basan en concentrados solubles representando un 93,8 % del total de los productos disponibles. Sólo un 6% son fabricados como suspensión concentrada.

En general, en la composición de las formulaciones de los herbicidas además de los principios activos están presentes otras sustancias. Dichas sustancias actúan como solventes y coadyuvantes con la intención que potencien los beneficios del principio activo al aumentar la persistencia de mismo sobre la cutícula de la hoja. Además, pueden incrementar la permeabilidad a través de la barrera cuticular vegetal.

En cuanto a las mezclas, en la Tabla 1 ANEXO, se puede observar que la mezcla de PQT + Diurón (remarcadas en rojo) se da en 5 casos con una toxicidad de CT II.

4.5. Información sobre su clasificación en cuanto a peligros

4.5.1. Clasificación toxicológica de las formulaciones comerciales de PARAQUAT registradas en Argentina

De acuerdo a los criterios de clasificación y etiquetado de los productos fitosanitarios según resolución SAGPyA N° 350/1999, pueden ser categorizados tanto como productos moderadamente peligrosos en cuanto al riesgo (categoría toxicológica II, OMS) y nocivos en cuanto al peligro representados por una banda de color amarillo; o como productos que normalmente no presentan peligro (categoría toxicológica IV, OMS) representados por una banda de color verde según la formulación (CASAFE, 2019). En general las formulaciones traen

“Paraquat”

incorporado un colorante llamativo (verde esmeralda), un aditivo que le aporta un olor característico y distintivo como así también un emético para reducir el riesgo de accidentes por ingestión.

Para la Argentina y según las resoluciones N° 350/99 y N° 302/2012 del SENASA, de las 87 presentaciones comerciales registradas de Paraquat (CT II + III) / Paraquat dicloruro (CT II + III), el 75 y 25% son de clase toxicológica (CT) II y III, respectivamente (Figura 2).

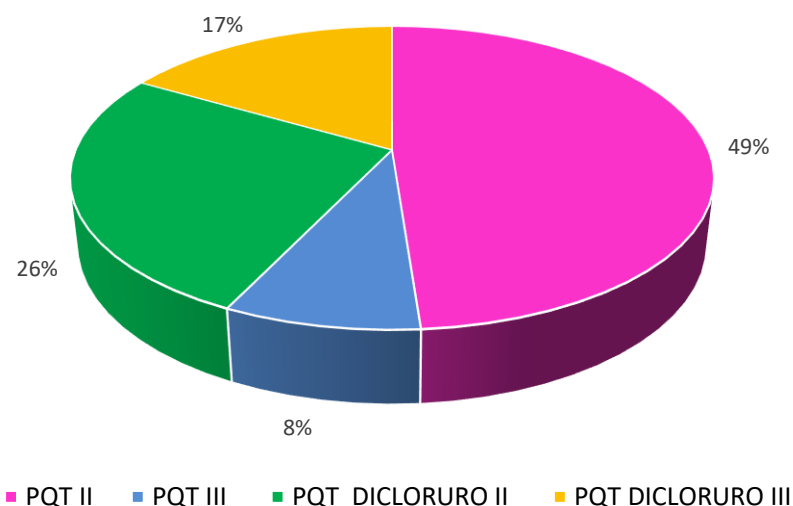


Figura 2. Clasificación toxicológica de las presentaciones comerciales de Paraquat y Paraquat dicloruro. Se muestra la frecuencia de presentaciones registradas de acuerdo a su clasificación de peligrosidad (SENASA), expresando la proporción como % del total de presentaciones mostradas en la Tabla 3.
PQT= Paraquat.

El principio activo Paraquat es muy tóxico por vía oral e inhalatoria en humanos. El Paraquat también es tóxico por vía cutánea, siendo clasificado por USEPA en la Categoría I de peligrosidad (USEPA, 1997). Los organismos regulatorios internacionales consideran que existe evidencia suficiente para concluir que Paraquat es altamente tóxico por vía inhalatoria, asignándole la categoría I de toxicidad (nivel más alto de peligrosidad) en base a los datos de toxicidad aguda por esta vía de ingreso. Los riesgos de toxicidad severa y letalidad en mamíferos (incluyendo humanos) son primariamente relacionados a los efectos adversos en pulmón, hígado, riñón y el miocardio (USEPA, 1997).

“Paraquat”

El conocimiento acumulado de las últimas décadas indica que las acciones tóxicas de Paraquat derivan de los ciclos repetidos de reducción y reoxidación que sufre en los tejidos que contamina, y de la susceptibilidad de los tejidos al estrés celular que causa la perturbación de los niveles fisiológicos de especies reductoras y oxidantes. Este mecanismo primario de toxicidad en mamíferos se ha sostenido a través de numerosos estudios *in vivo* y de preparaciones de tejido hepático de animales de laboratorio durante los últimos 50 años. Los efectos moleculares a nivel del sistema de respiración mitocondrial promueven alteraciones en la utilización de O₂, formación de múltiples especies químicas que se comportan como radicales libres, alteraciones en el metabolismo energético, peroxidación lipídica y otras alteraciones sub-celulares que resultan en trastornos graves de la viabilidad celular (Bus y col., 1976; Dinis-Oliveira y col, 2008; Tsai, 2013).

La absorción de Paraquat por el tracto gastrointestinal es muy baja. Luego de exposición oral, este herbicida es excretado principalmente en la materia fecal. La microbiota intestinal puede descomponer al Paraquat formándose derivados que adquieren capacidad de absorción a través del epitelio intestinal. No existe información disponible que permita caracterizar la peligrosidad de los metabolitos formados por los microorganismos de la microbiota en modelos experimentales de estudio (rata; ratón), o en humanos. Si ocurre la absorción parcial luego de contaminación por vía dermal (estudios de administración subcutánea), Paraquat es eliminado principalmente por orina sin ser metabolizado. En conclusión, según el conocimiento acumulado, la relación estructura-actividad de Paraquat (y no sus productos de descomposición biótica o abiótica) es la que define los daños primarios y la letalidad que este herbicida puede causar a la salud humana en escenarios realistas de exposición aguda o crónica.

La letalidad de Paraquat ha sido estimada evaluando las sales de dicloruro y las de dimetilsulfato por vía oral. En ratas adultas, los estudios relevados en los primeros documentos regulatorios reportan valores de DL50_{oral} entre 100 y 157 mg/kg, sin diferencia relevante entre machos y hembras. La OMS reporta 150 mg/kg como DL50_{oral} de referencia para la clasificación de peligro. Dicho valor ubica a Paraquat como Moderadamente Peligroso, clase 3 (sistema GHS). En exposiciones a dicloruro de Paraquat de 4 h de duración, en ratas se ha reportado una CL50 inhalatoria de 6,4 mg/L.

Luego de la administración de dosis que individualmente causan toxicidad aguda en ratas, se observa una serie de signos característicos. Existe una latencia para la manifestación de signos de toxicidad de ~24 h, y luego los animales tratados se manifiestan con actividad mínima o nula,

“Paraquat”

en estado aletargado, con la respiración cada vez más dificultosa, lo que resulta en signos de anoxia cada vez más intensos luego de 3-4 días. En general, la muerte sobreviene 2-14 días luego de la administración aguda, transcurrido un periodo de anorexia y pérdida de peso. La muerte se asocia a trastornos severos a nivel hepático y pulmonar, entre los tejidos más susceptibles e involucrados en la letalidad. En los estudios reportados de administración de dosis única se observa mayor frecuencia de letalidad entre 2 y 5 días post-tratamiento, y en menor medida luego de transcurrir una semana desde la dosificación oral.

Clasificación regulatoria de peligros – Salud humana – Protección ambiental

Los organismos regulatorios internacionales han establecido la categorización de paraquat en cuanto a la peligrosidad de los episodios de exposición aguda y los escenarios de exposición repetida (exposición ocupacional, para-ocupacional y ambiental). A continuación se presentan los niveles de peligrosidad establecidos por la Unión Europea de acuerdo a la población de interés (humanos; biota en general), y los efectos críticos de interés regulatorio.

Tabla 3: Clasificación regulatoria de peligros del Paraquat

Toxicidad Aguda 3 - H301	Toxicidad Aguda 3 - H311
Irritación Dermal 2 - H315	Irritación Ocular 2 - H319
Toxicidad Aguda 2 - H330	STOT SE* 3 - H335
STOT RE** 1 - H372	Toxicidad Aguda (Biota Acuática) 1 - H400
Toxicidad Crónica (Biota Acuática) 1 - H410	

* STOT SE (clasificación alternativa de peligrosidad según sistema GHS) = Toxicidad Específica de Órgano Blanco para episodios únicos/simples de exposición. Clase 1 = mayor nivel de peligrosidad para humanos.

** STOT RE (clasificación alternativa de peligrosidad según sistema GHS) = Toxicidad Específica de Órgano Blanco para casos de exposición repetida. Clase 1 = mayor nivel de peligrosidad para humanos siguiendo episodios de exposición repetidos o exposiciones de duración prolongada.

“Paraquat”

En cuanto a los estudios de exposición repetida subcrónica y crónica en ratas, Paraquat está clasificado como Posible Carcinógeno en Humanos (Clase C). No cumple con criterios de genotoxicidad-mutagenicidad ni como agente sensibilizante.

En escenarios de exposición realista, la evidencia acumulada no es suficiente para clasificarlo como neurotóxico en humanos. En dosis que no causan toxicidad evidente en mujeres embarazadas, Paraquat no se considera un agente tóxico para los fetos en desarrollo, ni causa efectos adversos a nivel reproductivo. Tampoco existe evidencia que permita clasificar a Paraquat como disruptor endócrino .

Para la clasificación regulatoria de efectos (*health effects*, HE) en la salud humana, la OSHA (USA) informa los siguientes peligros:

- HE10 – Efectos respiratorios (además de irritación) – Daño pulmonar acumulativo
- HE7 – Trastornos de Sistema Nervioso – Otros efectos neurológicos (además de narcosis)
- HE5 – Reproducción -Teratogénesis y/o otros deterioros reproductivos
- HE17 – Asfixiantes - Causa Anoxia

Estimadores de niveles umbrales de peligro

Residuos en alimentos (riesgo dietario)

- ADI 0,004 mg/kg/día [Dir 03/112]**

Exposición aguda agregada

- ARfD 0,005 mg/kg/día [Dir 03/112]**

**A partir de otra fuente (JMPR, 2004): ARfD = 0,006 mg/kg; ADI = 0,005 mg/kg/día

Exposición de operadores/trabajadores (múltiples vías de ingreso)

- AOEL 0,0004 mg/kg/d día [Dir 03/112]

**Tomado de EU Pesticide Database

“Paraquat”

Exposición y peligrosidad en humanos

La peligrosidad de Paraquat en humanos se asocia principalmente a la ingesta accidental, la exposición ocupacional, la contaminación dermal repetida y los intentos de suicidio con formulados de este herbicida. Debido a la baja volatilidad de Paraquat, la toxicidad por exposición inhalatoria es poco probable. Además, se propone que si se siguen las recomendaciones de uso y BPAs, el paraquat liberado al aire no llega al tracto respiratorio inferior debido a las características de las gotas que se forman durante las aspersiones. En consecuencia, los efectos adversos (irritación, inflamación, dolor; eventualmente sangrado nasal) pueden manifestarse en las mucosas solo a nivel nasofaríngeo (USEPA, 2016). Existen limitada información científica en la literatura abierta para afirmar en forma conclusiva la ausencia de ingreso por vía inhalatoria de niveles toxicológicamente relevantes de Paraquat al tracto respiratorio inferior. Esto podría ser especialmente relevante teniendo el uso parcial y/o inadecuado de equipos de protección personal en las prácticas agrícolas en nuestro país (SMDS, 2007).

Se estima que la letalidad en humanos aparece cuando la exposición aguda involucra dosis ≥ 35 mg de Paraquat por kg de peso corporal. La intoxicación aguda causa estrés respiratorio y signos clínicos de neurotoxicidad y nefrotoxicidad. La contaminación dermal puede llevar a resecaimiento y fragilidad de piel y uñas y úlceras dermales de diversa gravedad. Si ocurre ingesta oral, pueden aparecer signos de citolisis en hepatocitos y falla aguda renal luego de 12 h de ocurrido el episodio de intoxicación. Cuando existe estrés severo y falla funcional a nivel respiratorio, la supervivencia es excepcional. No existe tratamiento ni antídoto específico; las intervenciones en caso de emergencias son paliativas de acuerdo a los síntomas y a los signos vitales más descompensados (USEPA, 2016).

La ingesta repetida de comida o agua contaminada con Paraquat puede causar la muerte varios días después del inicio de la exposición oral. Aun un episodio único de ingesta líquida con niveles altos de Paraquat puede llegar a ser fatal en personas susceptibles (por ej., niños pequeños). En casi todos los casos descriptos con un desenlace fatal se ha reportado que la muerte se asoció a daño pulmonar severo (infiltración y fibrosis) con involucramiento de alteraciones en la anatomía alveolar y falla renal. La contaminación dermal también puede ocasionar toxicidad severa, y en algunos casos la muerte (USEPA, 2016).

Salpicaduras accidentales o instilación en los ojos causan irritación e inflamación que progresa gradualmente en la conjuntiva ocular, llegando a afectar grandes áreas de la conjuntiva y de la

“Paraquat”

córnea. La recuperación de los daños oculares puede ser lenta, y dependiendo de la concentración del producto y la dosis, pueden quedar secuelas persistentes o permanentes en la visión.

El contacto de productos formulados conteniendo Paraquat con la mucosa bucal, ingesta oral o salpicaduras en piel u ojos involucrando soluciones diluidas causan molestias y alteraciones leves-moderadas y en general, totalmente reversibles.

Además de la literatura que reporta estudios en animales de laboratorio (rata, ratón, perro y otros), la experiencia clínica-hospitalaria indica que los pulmones, el hígado y el riñón son los tejidos más vulnerables en los casos de intoxicación con Paraquat.

Los comités de especialistas de organismos internacionales han concluido que dada la multiplicidad de tejidos susceptibles, la relevancia fisiológica de las funciones orgánicas afectadas, la diversidad de escenarios de intoxicación posibles y los casos reportados de toxicidad aguda grave en humanos, la manipulación y aplicación de productos formulados con Paraquat debe ser realizada por especialistas certificados con idoneidad comprobada. En función de su perfil toxicológico, no hay registro de usos domésticos ni productos autorizados para usarse en áreas residenciales.

Finalmente, Paraquat es clasificado como tóxico para vertebrados e invertebrados terrestres y acuáticos.

4.5.2. Propiedades ecotoxicológicas

En las Tablas 4 y 5 se muestra un resumen de las propiedades ecotoxicológicas del Paraquat. Fuente: Pesticide Properties Database, University of Hertfordshire (Lewis et al., 2016). Información mas detallada sobre efectos ecotoxicológicos son desarrollados en el ítem 8.

Toxicidad AGUDA

La toxicidad aguda es moderada en la mayoría de los grupos animales, a excepción de las aves y las algas para los cuales la toxicidad aguda es elevada. Estos datos permiten interpretar que

“Paraquat”

derrames y/o derivas que generen niveles $\geq 10^{-1}-10^2$ ug/L son relevantes desde el punto de vista de su impacto ecotoxicológico (Tabla 4).

Tabla 4. Ejemplos de valores concentración de referencia para toxicidad aguda de Paraquat para diferentes organismos de interés regulatorio. DL50, dosis letal 50; CE50, concentración efectiva 50; CL50, concentración letal 50.

Grupo animal	Parámetro	Valor	Especie utilizada	Interpretación
Mamífero	DL50	110 mg/kg	rata	moderado
Aves	DL50	35 mg/kg	desconocida	elevado
Peces	96h-CL50	19 mg/L	Trucha arco iris <i>Oncorhynchus mykiss</i>	moderado
Invertebrados acuáticos	48h-CE50	4,4 mg/L	Pulga de agua <i>Daphnia magna</i>	moderado
Plantas acuáticas	7d-CE50	0,037 mg/L	Lenteja de agua <i>Lemna gibba</i>	moderado
Algas	72h-CE50	0,00023 mg/L	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	elevado
Abejas	DL50 de contacto	9,26 µg/abeja	<i>Apis spp</i>	moderado
Abejas	DL50 oral	>9,06 µg/abeja	<i>Apis spp</i>	moderado
Lombrices	14d-CL50	>1000 mg/kg	Lombriz de tierra <i>Eisenia foetida</i>	bajo

Toxicidad CRÓNICA

Tabla 5. Ejemplos de valores de toxicidad crónica de Paraquat para diferentes organismos. NOEC, concentración a la cual no se observa efecto.

Grupo animal	Parámetro	Valor	Especie utilizada	Interpretación
Peces	21d-NOEC	>8 mg/L	Pez gato africano <i>Clarias gariepinus</i>	moderado

“Paraquat”

Invertebrados acuáticos	21d-NOEC		0.12 mg/L	Pulga de agua <i>Daphnia magna</i>	moderado
Organismos del sedimento	28d-NOEC agua	en	0.367	<i>Chironomus riparius</i>	moderado
Organismos del sedimento	28d-NOEC sedimento	en	>100	<i>Chironomus riparius</i>	bajo

En cuanto a los episodios repetidos de exposición y exposiciones prolongadas, la toxicidad de Paraquat es de moderada a baja en la mayoría de los organismos reportados, aunque hay que resaltar que la Tabla 5 no incluye datos sobre algas y aves, los dos grupos biológicos que son lo más sensible a nivel agudo.

4.5.3. Clasificación de seguridad y peligro de Paraquat

A continuación se muestran los pictogramas para clasificación de seguridad y peligro de Paraquat, según el Reglamento CE 1272/2008 (Figura 3), la *Occupational Safety and Health Administration* de EEUU (OSHA) y la *National Fire Protection Association* (NFPA) de EEUU (Figura 4).





			
Peligro para la Salud	Irritante	Riesgo Ambiental	Toxicidad aguda

Figura 3. Identificación de peligro para la ParaquatT según CE 1272/2008.

“Paraquat”

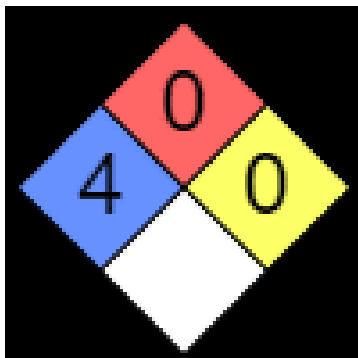


Figura 4. Identificación de peligro para Paraquat según OSHA.

Clasificación de salud (azul) NFPA 4: materiales que, en condiciones de emergencia, pueden ser letales. Clasificación de fuego (rojo) NFPA: 0 - Materiales que no se queman en condiciones típicas de incendio, incluidos materiales intrínsecamente no combustibles como hormigón, piedra y arena. Clasificación de inestabilidad (amarillo) NFPA: 0 - Materiales que en sí mismos son normalmente estables, incluso en condiciones de incendio. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2256#section=Stability-Shelf-Life>.

5. Aplicaciones y/o usos

5.1. Marcos reglamentarios vigentes, incluyendo uso autorizado, restringido y/o su prohibición

Desde hace varios años, la Unión Europea al igual que muchos otros países, han establecido la prohibición o la restricción del uso de Paraquat grado técnico o de Paraquat dicloruro. Estos productos no se utilizan en varios países de distintas regiones del mundo. Entre los países que tienen prohibido o restringido su uso podemos mencionar a: Arabia Saudita, Belice, Burkina Faso, Cabo Verde, Camboya, Chad, Chile, Columbia, Costa Rica, Estados Unidos, Filipinas, Guinea, Indonesia, Corea del Sur, Laos, Malasia, Mali, Mauritana, Mozambique, Nigeria, Omán, Palestina, Senegal, Sri Lanka, Togo, Reino Unido, Uruguay, Vietnam, entre otros (Casadinho, 2019). En Argentina están autorizados y registrados para la venta.

La Comisión de Revisión Química (CRC, por su sigla en inglés) de la Convención de Rotterdam revisó una propuesta de Burkina Faso para citar al GRAMOXONE® SUPER como una Formulación de Plaguicida Extremadamente Peligrosa (SHPF, por su sigla en inglés) en su reunión del marzo de 2011. La CRC llegó a la conclusión de que los criterios relativamente blandos para una SHPF se cumplían y recomendó la inclusión en el Anexo III de la Convención

“Paraquat”

de Rotterdam, con PIC (Consentimiento Fundamentado Previo) para las formulaciones de tipo EC y SL que contienen ion de paraquat en concentraciones de 200 g/L o superiores. La Conferencia de las Partes (COP, por su sigla en inglés) en su sexta reunión celebrada en abril 2013, en su séptima reunión en mayo 2015, en su octava reunión en mayo 2017 y en su novena reunión en mayo 2019 no pudo lograr consenso para la recomendación de inclusión en la lista y aplazó la decisión para el 2021. Si bien la COP decidió que se cumplían todos los criterios, algunas delegaciones manifestaron fuerte preocupación por la falta de alternativas, gastos y potenciales implicancias para la comercialización futura de productos con paraquat. El paraquat como sustancia o en una formulación (SHPF) actualmente no se encuentra incluido en la lista de PIC.

En Argentina, al ser un fitosanitario de elevada toxicidad aguda para mamíferos, su uso puede estar prohibido en áreas periurbanas de dimensiones variables según municipio, comuna, provincia, etc. En caso que el cultivo o sus subproductos se destinen a la exportación, deberá conocerse el límite máximo de residuos del país de destino y observar el período de carencia que corresponda a ese valor de tolerancia (CASAFE, 2019). Los intervalos de re-ingreso post-aplicación y el PHI (Pre-Harvest Interval, tiempo que se debe esperar entre la fecha de aplicación y fecha de la cosecha; Tiempo de Carencia es el término utilizado en castellano) pueden ser variables, pero en general se ha establecido entre 1 día y 3 semanas.

Tiempo de reingreso restringido al área tratada: 12-24 h

Tiempo de carencia: en general, entre pocos días y 3 semanas dependiendo de dosis, protocolo de aplicación, cultivo, etc., si bien algunas empresas mencionan tiempos de carencia mucho menores o directamente 0 h, y algunas reconsideraciones de autoridades regulatorias han propuesto tiempos de 3-7 semanas para algunos casos particulares.

Está prohibida su aplicación con equipos de riego al igual que el uso de aplicadores manuales de ultra bajo volumen (CASAFE, 2019).

Se permite la aplicación terrestre y aérea con excepción de áreas periurbanas en cultivos de girasol y legumbres como desecante en precosecha (CASAFE, 2019)

“Paraquat”

5.2. Tecnologías de aplicación (dosis, metodologías de aplicación aéreas/terrestres, cultivos en los que se aplica, momentos de aplicación)

El Paraquat es un herbicida de amplio espectro, rápida acción y precisión. Otros productos herbicidas de amplio espectro son de acción lenta, ya sean fuertemente o moderadamente sistémicos, y/o su eficacia es sensible a las condiciones climáticas después de la aplicación (por ej., lluvias y bajas temperaturas). Como resultado, otros productos no son alternativas efectivas al uso del Paraquat cuando se requiere un efecto rápido y preciso, seguridad para los cultivos y conservación del suelo a través de la retención de las raíces. UNEP-FAO (2012).

El Paraquat está recomendado como desecante para uso en acequias, alambrados, barbechos químicos y es utilizado en nuestro país en ésta modalidad en aproximadamente un 70% del volumen que se comercializa. Además, se emplea en cultivos frutales, para limpieza de entresurcos, el cual es aplicado con máquinas pulverizadoras que contienen defensas para no hacer contacto con los frutales. Otro uso recomendado es para cultivos de algodón, pasturas, arvejas, lentejas y poroto únicamente cuando se hace necesario desecar por razones climáticas, acelerando el ciclo del cultivo. En todas estas aplicaciones se utilizan máquinas de arrastre o bien autopropulsadas. No se pueden utilizar equipos de mochila dados que tal forma de aplicar no es segura para los aplicadores. Es importante destacar que los aplicadores deben hacer uso adecuado de los equipos de protección reglamentarios.

El uso en barbecho químico es el uso más preponderante, donde es empleado para combatir malezas que muestren tolerancia a otros herbicidas con diferente modo de acción. En estos casos, puede emplearse en combinación con atrazina, diquat y metsulfuron metil, al igual que con herbicidas hormonales (2,4-D; 2,4-DB; MCPA; dicamba y picloram) para el control de malezas difíciles de hoja ancha, especialmente cuando las mismas están en un estadio más desarrollado. La maquinaria utilizada en estos casos es autopropulsada en su mayoría, con cabinas protegidas con filtros especiales para la protección del aplicador (CASAFE, 2019).

El Paraquat no está recomendado para cultivos hortícolas o intensivos, donde el uso de mochila es más frecuente.

Entre las malezas más relevantes para Argentina, las cuales pueden ser controladas con Paraquat grado técnico o Paraquat dicloruro se encuentran:

“Paraquat”

Tipos de malezas	
Nombre científico	Nombre vulgar o común
<i>Stypa brachychaeta</i>	Pasto puna
<i>Bowlesia incana</i>	Perejilillo
<i>Lamium amplexicaule</i>	Ortiga mansa
<i>Stellaria media</i>	Capiquí
<i>Urtica urens</i>	Ortiga
<i>Veronica arvensis</i>	Verónica
<i>Commelina erecta</i>	Flor de Santa Lucía
<i>Parietaria debilis</i>	Yerba fresca
<i>Viola arvensis</i>	Pensamiento o violeta silvestre
<i>Conyza bonariensis</i>	Rama negra
<i>Senecio argentinus</i>	Senecio
<i>Gomphrena pulchella</i>	Siempre viva del campo
<i>Amaranthus hybridus</i>	Yuyo colorado
<i>Eleusine indica</i>	Pata de gallina
<i>Digitaria sanguinalis</i>	Cuaresma
<i>Glicyne max</i>	Soja Guacha
<i>Lolium multiflorum</i>	Raigrás anual
<i>Sphaeralcea bonariensis</i>	Malva blanca
<i>Echinochloa colona</i>	Pasto colorado
<i>Eleusine indica</i>	Gramma carraspera
<i>Urochloa panicoides</i>	Brachiaria sp.
<i>Capsella-bursa-pastoris</i>	Bolsa de pastor
<i>Trifolium repens</i>	Trébol blanco
<i>Parietaria debilis</i>	Ocucha, Parietaria

En cuanto a las prácticas sobre manejo y control químico en tratamientos de post-emergencia de malezas más difíciles, se recomienda aplicar Paraquat sobre malezas en activo crecimiento, de preferencia cuando son pequeñas (2 a 4 hojas) y tienen una altura inferior a 10 cm. Las condiciones ambientales así como la calidad de la aplicación juegan un rol fundamental en la eficacia de la acción herbicida (Aapresid REM, 2020).

El producto tiene un uso muy difundido en Argentina y posee registro en SENASA para ser aplicado en numerosos tipos de cultivos de importancia económica ya sean cereales, hortalizas, frutales, pasturas, oleaginosas, etc. La variación de las dosis corresponde a los diferentes tipos de malezas y de formulaciones (Tabla 6).

“Paraquat”

Tabla 6: Rango de dosis (l/ha) recomendadas de uso según el tipo de cultivo a tratar. ha: hectárea.

Tipo de cultivos		Dosis (l / ha)
Nombre vulgar	Nombre científico	
Alfalfa (y demás leguminosas forrajeras)	<i>Medicago sativa</i>	1,0 – 4,0 l /ha
Algodón	<i>Gossypium hirsutum</i>	0,7 – 1,0 l / ha
Alpiste	<i>Phalaris canariensis</i>	1,0 – 1,5 l / ha
Arveja	<i>Pisum sativum</i>	1,0 – 2,0 l / ha
Arroz	<i>Oriza sativa</i>	1,0 – 2,0 l / ha
Banano o plátano	<i>Musa paradisiaca</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Cerezo	<i>Prunus avi</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	
Ciruelo	<i>Prunus americana</i> <i>P. doméstica</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Cereales		1,5 – 3,0 l / ha
Cítricos	<i>Citrus s.p.</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Damasco	<i>Prunus armeniaca</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Duraznero	<i>Prunus pérsica</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Girasol	<i>Helianthus annuus</i>	1,5 – 2,5 l / ha
Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Lentejas	<i>Lens culinaris</i>	1,0 – 2,0 l / ha
Manzano	<i>Malus domestica</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Maiz	<i>Zea mays</i>	1,5 – 2,0 l / ha
Olivo	<i>Olea europaea</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Oleaginosas y ornamentales en línea		1,5 – 3,0 l / ha
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	1,5 – 2,5 l / ha
Pasturas		1,5 – 3,0 l / ha
Pasturas de leguminosas		1,0 – 1,5 l / ha
Peral	<i>Pyrus communis</i>	
Perejil	<i>Petroselinum crispum</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Porotos	<i>Phaseolus vulgaris L.</i>	1,0 – 2,0 l / ha
Pimiento	<i>Capsicum annum L.</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Puerro	<i>Allium ampeloprasum</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Siembra directa		2,0 l / ha
Soja	<i>Glycine max</i>	1,0 – 2,0 l / ha
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	1,5 – 2,0 l / ha
Te	<i>Camellia sinensis</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Tomate	<i>Lycopersum esculentum</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Trigo	<i>Triticum spp</i>	2,0 l / ha
Tung	<i>Aleurites fordii</i>	1,5 – 4,0 l / ha
Vid	<i>Vitis vinifera</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Yerba mate	<i>Ilex paraguariensis</i>	1,5 – 3,0 l / ha
Tabaco	<i>Nicotiana tabacum</i>	1,5 – 3,0 l / ha

“Paraquat”

Por lo tanto, dentro de los usos del Paraquat podemos mencionar (CASAFE, 2019):

- **Empleo como defoliante:** se aplica para acelerar la pérdida del follaje de un cultivo y facilitar su cosecha una vez alcanzada la madurez fisiológica del producto. Dosis recomendada del producto formulado: 0,7 a 1,0 l.pf/ha p.e. en el cultivo de algodón.
- **Empleo como desecante:** se aplica para acelerar la pérdida de humedad de la planta y adelantar así, la finalización del ciclo y la cosecha. Dosis recomendada: 1,0 a 2,0 l.pf/ha. p.e. en forrajeras, cuando alcanzaron el nivel y calidad de biomasa requerida; en cultivos de cosecha una vez alcanzado el grano o la semilla la madurez fisiológica (maíz, sorgo, girasol, soja, mijo, arveja, lenteja, poroto, etc.).
- **Empleo como herbicida pre-emergente:** en almácigos hortícolas en pre emergencia del cultivo; tratamientos dirigidos o protegiendo a las plantas del cultivo en caña de azúcar, frutales, forestales; en barbechos químicos; en siembra directa en tratamientos de pre siembra o pre emergencia del cultivo (siempre e invariablemente antes de que emerja el cultivo ya que de lo contrario el mismo resulta severamente dañado); en áreas no cultivadas como acequias, alambrados, caminos, cunetas, etc. Dosis recomendada: 1,5 a 3,0 l.pf/ha (CASAFE, 2019)

5.3. Desvíos de uso en Argentina (residuos que aparecen sin autorización en agroalimentos; usos no autorizados para control de malezas urbanas/suburbanas; almacenamiento/acopio ilegal)

Uso inapropiado en plantaciones de tabaco

Según un informe del 2007 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Salud de la Nación, una situación preocupante, es que las empresas tabacaleras ofrecían el principio activo Paraquat bajo la formulación comercial Gramoxone®, un herbicida de mayor toxicidad aguda que los que se vienen utilizando en este tipo de cultivos como son clomazone, napropamida, trifluralina y s-metolacoloro. A pesar de que Paraquat no fue detectado en las encuestas dado que únicamente se registraban los más utilizados, en la charla informal con los colonos surgió el dato de su uso. Si bien el Paraquat está permitido como herbicida en cultivos de tabaco, es necesario entre la última aplicación y la cosecha, dejar transcurrir 21 días antes de la recolección del tabaco. En caso que el cultivo o sus subproductos se destinen a la exportación, deberá conocerse el límite máximo de residuos del país de destino y observar el período de carencia que corresponde a ese valor de tolerancia. La preocupación está sustentada en que el

“Paraquat”

Paraquat no posee antídoto específico en el caso de una intoxicación aguda sin que haya tratamiento clínico que pueda utilizarse para antagonizar el proceso fisiopatológico (SAyDA, OPS, AAMMA, 2007).

Uso no autorizado en cultivos de tabaco y hortalizas

Según un informe elaborado por el ingeniero agrónomo Javier Sousa Casadinho (Casadinho, 2019), realizado para la Red de acción en plaguicidas y alternativas para América Latina, en la Argentina se utilizan plaguicidas prohibidos en otros países del mundo, de los cuales un porcentaje considerable son considerados como altamente peligrosos según los criterios establecidos por la OMS y la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Entre los plaguicidas autorizados en Argentina y que existe un debate creciente a nivel internacional sobre su relación costo-beneficio (impacto en salud humana y ambiental) se destaca el Paraquat, que se aplica en los cultivos de tabaco y hortalizas, por ejemplo.

Uso no autorizado en plantaciones de colza (Uruguay)

El Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay dio a conocer una advertencia sobre el uso de Paraquat en plantaciones de *Brassica carinata* (colza) debido a desvíos de uso y violaciones en los niveles de residuos. El producto diquat es el único ingrediente activo registrado como herbicida/desecante en colza con registro y autorizado en Uruguay. Se deberán consultar las etiquetas (intervalo pre-cosecha, dosis) para que su uso no implique incrementos en los residuos detectables en el grano cosechado (MGAP, 2020). Al momento no hemos encontrado evidencia científica formal de su uso en horticultura en Argentina, si bien la consulta informal al sector de productores y asesores de prácticas agronómicas sugiere que eso también puede ocurrir en nuestro país.

6. Estimación de la cantidad de producto producido, importado, exportado y utilizado

El Paraquat se utiliza con fines agrícolas en dosis entre 1,5 y 3 L/ha, con volúmenes de agua de

“Paraquat”

150 a 300 L para pre-cosecha, post-siembra y pre-emergencia (CASAFE, 2019). En cultivos en línea (cereales, oleaginosas, hortícolas, ornamentales y viveros) se debe aplicar entre las líneas del cultivo implantado. Las dosis recomendadas para el caso de labranza cero o siembra directa es de 2 l/ha, preferentemente antes de la siembra. En cultivos de forrajeras como alfalfa puede aplicarse en dosis de 3 a 4 l/ha. Para el caso de viñedos, frutales de pepita, carozo y cítricos, olivo, té, yerba mate y forestales se aconseja el uso de una dosis general que va de 1,5 – 3 l/ha. En cultivos de caña de azúcar puede usarse como herbicida o como desecante en dosis de 1,5– 3 l/ha al igual que en cultivos de algodón como defoliante en dosis de 0,7-1,0 l/ha (CASAFE, 2019).

Como se puede apreciar en el siguiente Cuadro, para Argentina se observa un incremento de 2,6 veces en la utilización de Paraquat (Kg) en los últimos 6 años, respecto a 2013 (Tabla 7).

Tabla 7: Importaciones de Paraquat (Fuente: SENASA)

Año	Kg/Paraquat	Precio (USD/FOB)
2013	6.343.009,30	18.438.316,38
2014	7.506.311,70	26.961.239,00
2015	9.836.654,12	28.473.015,74
2016	8.249.744,78	15.153.086,51
2017	15.566.448,61	36.631.037,44
2018	17.730.787,19	48.416.018,44

A modo de ejemplo, puede mencionarse que durante el periodo 2018-2019 el consumo interno de Paraquat fue de 9 millones de litros (formulado al 20%) incluida la combinación comercial con el herbicida diurón el que representó un 15% del total (Cerillo®, Syngenta Agro S.A.).

El SENASA a través de Dirección de Agroquímicos y Biológicos informa valores de importación y exportación de Paraquat. En las figuras 4-55 se puede observar los valores anuales (período 2006 a 2018) de importación y exportación (cuando los hubiese) expresados en kilogramos para el total de formulaciones empleadas, respectivamente.

“Paraquat”

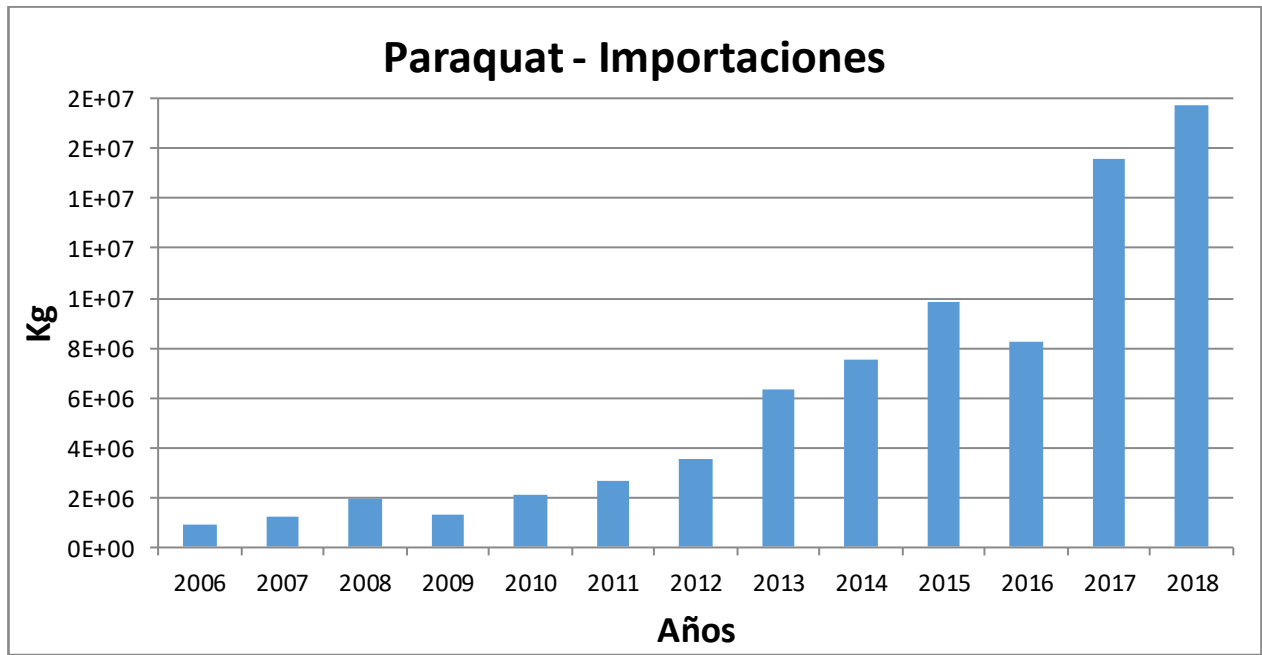


Figura 5. Importaciones de Paraquat durante el período 2006 hasta 2018

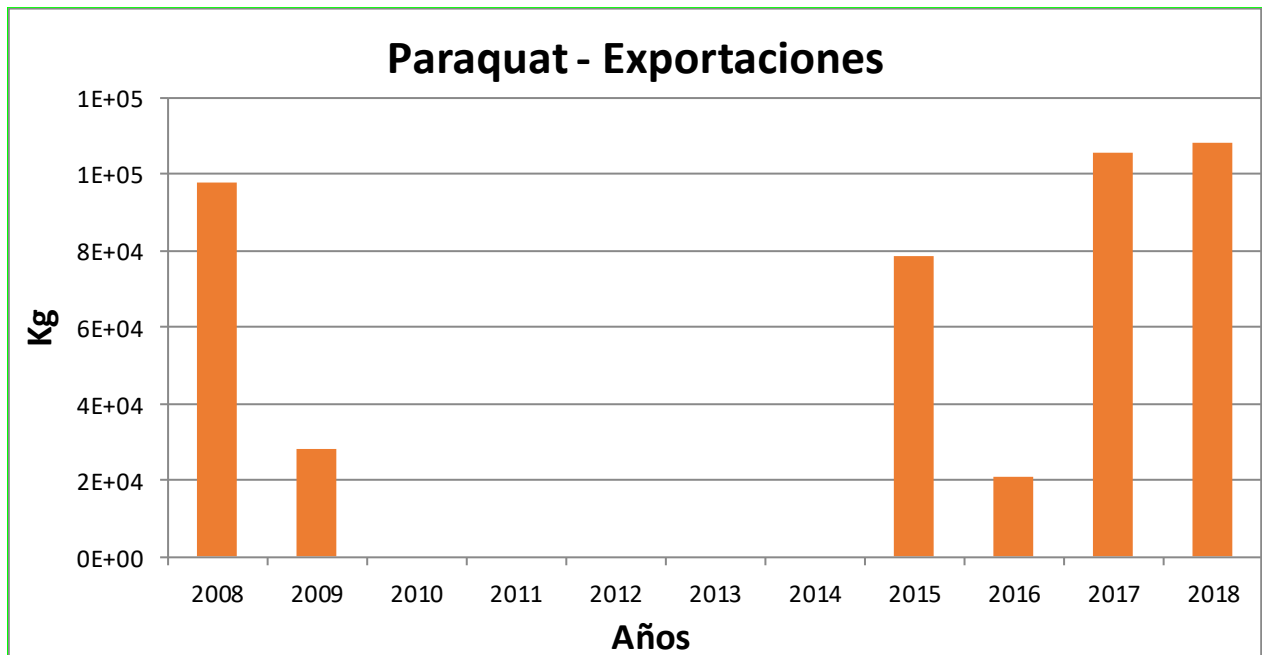


Figura 6: Exportaciones de Paraquat durante el período 2008 hasta 2018

“Paraquat”

Como puede observarse en la Figura 5 para el año 2006 la importación de Paraquat resultó en algo menos de 1 t y desde ese año en adelante, existió una tendencia clara a la suba aumentándose aproximadamente en un 2000% las importaciones de dicho herbicida al 2018. Una tendencia similar pero mucho menos pronunciada, se observó con las exportaciones de Paraquat en la Figura 6 a partir del año 2015, donde se exportaron algo menos de 80.000 Kg produciéndose un aumento aproximado al 40% en los últimos años.

A fin de comparar las tendencias de importaciones de paraquat en argentina, se presentan datos de algunos países regionales donde se utiliza este herbicida.

Según los datos publicados por el Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables (IBAMA), en 2017, el paraquat ocupó el octavo lugar en la lista de los diez plaguicidas más vendidos de Brasil, con un volumen de ventas superior a las 11.000 toneladas. En 2018, el producto ascendió al sexto lugar, con un volumen de ventas superior a las 13.000 toneladas. Estos valores son aproximadamente 2/3 de los importados por Argentina. Cabe destacar que, en Brasil, la Agencia Nacional de Vigilancia de la Salud (ANVISA) tomó la decisión de prohibir el ingrediente activo paraquat, cuya entrada en vigor fue prevista para el 22 de septiembre de 2020, de acuerdo con las reglas de la Resolución de Dirección Colegiada (RDC) 177/2017 (<http://news.agropages.com/News/NewsDetail---34367.htm>)

En Paraguay el paraquat es utilizado como secante en los campos de soja y su importación se duplicó en los últimos cinco años llegando a 9 millones de kilos en el 2018, según datos del Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas (Senave) (<https://www.baseis.org.py/sojeros-continuan-utilizando-agrotoxicos-altamente-peligrosos/>). En 2015 se importaron 1.624.220 litros de Paraquat, y 14.400 litros de la mezcla Paraquat + Diuron (<http://www.agroquimicospy.com/assets/media/numeros-de-la-importacion-de-agroquimicos.pdf>). Consultada otra fuente (ATLAS DEL AGRONEGOCIO EN PARAGUAY. Asunción, Diciembre 2019. Autoras: Claudia Ávila y Lis García. Coordinación: Guillermo Ortega <http://www.biodiversidadla.org/Documentos/Atlas-del-agronegocio-en-Paraguay>) publica datos del SENAIVE detallando que los datos de importación desde el 2012 al 2018 corresponde a 6.188.045 L, 5.723.040 L, 7.754.232 L, 10.547.061 L, 8.644.727 L, 9.776.410 L y 8.770.068 L respectivamente para cada año. Estos datos confirman que ocurre la misma tendencia creciente que en argentina de la importación de este herbicida, pero correspondiendo aproximadamente a la mitad de lo importado por Argentina.

“Paraquat”

En Uruguay, el creciente uso de herbicidas se vio de manifiesto en forma semejante a la Argentina, observado a partir de las cifras de importación de paraquat, dadas por la Dirección General de Servicios Agrícolas, dependencia del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de dicho país. Los datos obtenidos en 2015, 2016, 2017 y 2019 fueron 356.254 L, 583.824 L y 741.560 L respectivamente de formulado. Además, durante los primeros meses de 2020 (abril) ya se importaron 356.254 L de formulados confirmando la tendencia.

Respecto a cuanto es el consumo interno para Argentina el Paraquat, por el momento, no fueron puestos a disposición los datos para este equipo de trabajo.

7. Dinámica ambiental considerando sus fuentes y reservorios

7.1. Liberación no controlada desde la cadena productiva (por ej., manejo/descarte de envases; limpieza de camiones y equipamientos en forma inadecuada/negligente; silos; deriva; zona buffer)

La liberación no controlada de Paraquat puede tener diversos orígenes (Casadinho, 2019):

- Limpieza de equipos en cursos de agua, reservorios de agua, tanques o instalaciones no apropiadas.
- Comercialización de herbicida fraccionado a usuarios no idóneos.
- Limpieza de envases.
- Descarte y quema de envases.
- Aplicaciones en días ventosos.
- Equipos de aplicación circulando con pérdidas.
- Almacenamiento al aire libre.
- Envases deteriorados.
- Distribución a granel.

Efectos negativos de largo plazo sobre el suelo del empleo agrícola de Paraquat y diquat (Yeates et al. 1976):

- 1) Reducción en la densidad y estabilidad de los agregados del suelo.
- 2) Reducción en la abundancia y diversidad de la nematofauna.

“Paraquat”

- 3) Reducción del número de algunos grupos de bacterias tales como la clase Clostridia.
- 4) Reducción del carbono orgánico y los valores de pH del suelo.
- 5) Reducción en la absorción de oxígeno, en la producción de dióxido de carbono y en la actividad de las enzimas dehidrogenasas.

7.2. Niveles de Paraquat registrados en distintas matrices (Argentina)

Se realizó una búsqueda bibliográfica de los datos informados en las diferentes opciones citadas en el punto 1 del presente informe, a modo de realizar un registro de datos ambientales sobre niveles de Paraquat en las diferentes matrices. En tal sentido no se han encontrado a la fecha registros con niveles detectables del plaguicida en Argentina*.

Del relevamiento de estudios a nivel internacional se pueden citar algunos trabajos de concentraciones de paraquat en el ambiente.

7.2.1. Agua Estudio sobre las concentraciones de dicloruro de paraquat en agua, sedimentos y peces de la cuenca del río Warri, en Nigeria (Ohwofasa Ikpesu et al., 2014). Las concentraciones medias del herbicida en el agua superficial en estaciones seleccionadas a lo largo del río Wari fueron entre $0.50 \mu\text{g L}^{-1}$ y $2.10 \mu\text{g L}^{-1}$.

Un monitoreo de paraquat y diquat en muestras de aguas subterráneas y de aguas superficiales recolectadas en zonas agrícolas de Andalucía (Sur de España) (Martínez Vidal et al., 2004). Se encontró diquat en el 37% y paraquat en el 32% de las muestras, con valores que van desde 1 a 42 g l^{-1} para diquat a 2 a 12 g l^{-1} para paraquat.

Contaminación por paraquat en aguas superficiales de un arroyo rural en la región montañosa en el estado de Río de Janeiro sureste de Brasil (Veríssimo et al., 2018). El paraquat fue medible en el 62,5% de las muestras. Se observó una tendencia significativa de aumento de las concentraciones de paraquat a lo largo del curso del río. El último sitio de muestreo mostró una mayor frecuencia de contaminación, con promedio de $0.075 \mu\text{g L}^{-1}$ (hasta $0.279 \mu\text{g L}^{-1}$). El número y la extensión de cultivos aumentó exponencialmente a lo largo de los sitios de muestreo, lo que explica el aumento de las concentraciones de paraquat medidas.

“Paraquat”

Contaminaciones de paraquat en el río Chanthaburi y zonas vicinales, provincia de Chanthaburi, Tailandia (Pataranawat et al., 2012). Las concentraciones de paraquat detectadas en muestras de agua recolectadas de los sitios de estudio seleccionados en las estaciones seca y húmeda estuvieron en los rangos de 0.13 a 7.13 y de 0.07 a 13.05 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente.

Paraquat en aguas superficiales de algunos arroyos en la provincia de Mai Chau, en el norte de Vietnam (Thi Hue et al., 2018). Las concentraciones de paraquat en el agua de la corriente se encontraron en un rango de 4.70 a 134.08 $\mu\text{g L}^{-1}$. Las concentraciones medias de paraquat en el agua subterránea en Cun Pheo, Pieng Ve, Xam Khoe y Mai Hich fueron 81.14, 34.95, 30.51 y 13.28 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. De las 68 muestras analizadas de la provincia de Mai Chau, se encontró paraquat en el 67,7% de las muestras.

Contaminación por paraquat, diquat y difenzoquat en aguas de zonas pantanosas de la Comunidad Valenciana (España) (Fernández et al., 1998). De las 84 muestras analizadas del Prat de Torreblanca-Cabanes, se encontró diquat en el 5,6% de las muestras. Sin embargo, las concentraciones fueron muy bajas, oscilando entre 0,14 $\mu\text{g L}^{-1}$ y 3.1 $\mu\text{g L}^{-1}$. Diquat y paraquat se encontraron juntos en 1.2% de las muestras, y diquat, paraquat y difenzoquat se encontraron juntos en 1.2% de las muestras. De las 288 muestras tomadas en la laguna de L'Albufera, no se detectaron herbicidas de bipyridilo en el 81.9% de las muestras, mientras que el 11.3% contenía diquat, 1.3% paraquat y 5.3% diquat y paraquat. No se encontró difenzoquat en ninguna muestra.

Los datos obtenidos en la marisma de Oliva Pego muestran que los herbicidas no fueron detectables en el 79.3% de las 144 muestras analizadas, mientras que el 11.33% contenía diquat, el 0.69% paraquat y el 8.66% contenía tanto diquat como paraquat. En general, el 16.6% de las muestras contenían al menos uno de los herbicidas de bipyridilo estudiados y algunas muestras contenían más de uno. Además, existen formulaciones comerciales que contienen tanto diquat como paraquat. La concentración promedio encontrada, incluyendo los puntos no detectados como cero, fue de 0.01 $\mu\text{g L}^{-1}$ para diquat y 0.06 $\mu\text{g L}^{-1}$ para paraquat. La mayor concentración de diquat, 3.1 $\mu\text{g L}^{-1}$, se encontró en agosto en Prat Cabanes-Torreblanca; el nivel más alto de paraquat, 3.95 $\mu\text{g L}^{-1}$, se encontró en julio en L'Albufera.

“Paraquat”

7.2.2. Suelo/sedimentos Las concentraciones de residuos de dicloruro de paraquat en las muestras de sedimentos del río Warri se encontraron entre 0.47 y 3.31 $\mu\text{g g}^{-1}$. (Ohwofasa Ikpesu et al., 2014)

7.2.3. Aire. (En preparación)

7.2.4. Biota Respecto a muestras de peces del río Warri (Nigeria), los valores hallados se encontraron entre 1.725 y 10.870 $\mu\text{g g}^{-1}$. (Ohwofasa Ikpesu et al., 2014).

Determinaciones de paraquat en cultivos cercanos a los arroyos en la provincia de Mai Chau, en el norte de Vietnam (Thi Hue et al., 2018), revelaron niveles de plaguicidas de amonio cuaternario paraquat, diquat, cloromequat y mepiquat en cebada y trigo (Francesquett et al., 2019). De las 20 muestras analizadas, 10 de cebada y 10 de trigo, cuatro muestras de cebada y ocho muestras de trigo presentaron concentraciones de paraquat por encima del LMR permitido por la Unión Europea (UE) correspondiente a 0.02 mg kg^{-1} .

7.2.5. Residuos en alimentos (permitidos según SENASA, registrados en alimentos)

Límites Máximos de Residuos (LMRs)

Según SENASA, la siguiente tabla indica los usos autorizados de paraquat, los cultivos en los que se aplica y los correspondientes *Límites Máximos de Residuos* (LMRs) en vigencia.

Tabla 8a. Límites máximos de residuos para paraquat en diferentes cultivos a nivel nacional

Compuesto Registrado	Aplicación Registrada	Cultivo	Residuos (mg /Kg)
PARAQUAT (Dicloruro)	Herbicida	Aceituna (fresca)	0.05
		Alfalfa (forraje)	0.1
		Algodón (aceite)	0.05
		Algodón (semilla consumo)	0.2
		Alpiste (grano consumo)	0.05
		Arroz (grano consumo)	5
		Arroz (grano sin cáscara)	0.2
		Arveja (grano consumo)	0.1

“Paraquat”

		Banana (con cáscara)	0.05
		Caña de azúcar (tallo fresco)	0.5
		Cereza	0.05
		Ciruela	0.05
		Barbecho químico	Exento
		Damasco	0.05
		Durazno	0.05
		Cítricos en general	0.05
		Girasol (aceite)	0.05
	Herbicida - Desecante	Girasol (Grano consumo)	0.05
	Herbicida	Guinda	0.05
		Lenteja (grano consumo)	0.1
		Maíz (forraje)	0.05
		Maíz (grano consumo)	0.05
		Manzana	0.05
		Membrillo	0.05
		Papa	0.2
		Nectarín / Pelón	0.05
		Pera	0.05
		Poroto (grano consumo)	0.1
		Soja (forraje)	0.1
		Soja (grano consumo)	0.05
		Sorgo (forraje)	0.05
		Sorgo (grano consumo)	0.05
		Trébol blanco (forraje)	0.1
		Trébol rojo (forraje)	0.1
		Trigo (grano consumo)	0.05
		Tung	0.5
		Uva (de mesa y vinificación)	0.05
		Yerba Mate	0.1
	Barbecho químico	Exento	
	Té	0.1	

Límites Máximos de Residuos (LMRs) - INTERNACIONAL

FAO. Pesticide Database. Límite Máximo de Residuos (LMR) según producto alimentario.

http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/pesticide-detail/en/?p_id=57

En algunos ítems, se incluye también el nivel de LMR establecido por USEPA entre paréntesis, según: USEPA (2019). Paraquat Dichloride: Draft Human Health Risk Assessment in Support of





“Paraquat”

Registration Review. EPA-HQ-OPP-2011-0855-0121. US Environmental Protection Agency.
Washington DC, USA.

Tabla 8b. Límites máximos de residuos para paraquat en diferentes cultivos a nivel internacional

Registro FAO #57 - Paraquat			
Producto	LMR	Año de adopción	Notas
☞ Almendras, cáscara	0.01 mg/kg	2006	(*)
☞ Mix frutas tropicales y subtropicales, cáscara/piel no comestible	0.01 mg/kg	2006	(*)
☞ Berries, y otras frutas pequeñas	0.01 mg/kg (USA, 0.05)	2006	(*)
☞ Frutas cítricas	0.02 mg/kg (USA, 0.05)	2006	
☞ Semilla de algodón	2 mg/kg	2006	
☞ Menudos comestibles (mamíferos)	0.05 mg/kg	2006	
☞ Huevos	0.005 mg/kg (USA, 0.010)	2006	(*)
☞ Hortalizas de fruto, distintas de las cucurbitáceas	0.05 mg/kg	2006	
☞ Hortalizas de fruto, cucurbitáceas	0.02 mg/kg	2006	
☞ Lúpulo, seco	0.1 mg/kg	2006	
☞ Vegetales de hoja	0.07 mg/kg	2006	
☞ Maíz	0.03 mg/kg (USA, 0.1)	2006	
☞ Harina de Maíz	0.05 mg/kg	2006	
☞ Maíz forrajero (seco)	10 mg/kg (USA, 3.0)	2006	Peso seco
☞ Carne (mamíferos, terrestres y otros marinos)	0.005 mg/kg	2006	
☞ Leche	0.005 mg/kg	2006	(*)
☞ Frutas de pepita	0.01 mg/kg (USA, 0.05)	2006	(*)
☞ Carne de ave	0.005 mg/kg	2006	(*)
☞ Ave de corral/granja, menudos comestibles	0.005 mg/kg	2006	(*)
☞ Leguminosas, semillas	0.5 mg/kg	2006	
☞ Arroz	0.05 mg/kg (USA, 0.05)	2010	
☞ Arroz, forraje, seco	0.05 mg/kg	2010	
☞ Vegetales de raíz y tubérculos	0.05 mg/kg	2006	
☞ Sorgo	0.03 mg/kg	2006	
☞ Sorgo, espiga y forraje (seco)	0.3 mg/kg	2006	Peso seco
☞ Poroto de soja forrajera	0.5 mg/kg	2006	Peso seco
☞ Frutas de carozo	0.01 mg/kg	2006	(*)

“Paraquat”

Producto	LMR	Año de adopción	Notas
 Girasol, semilla	2 mg/kg (USA, 2)	2006	
 Aceite de mesa	0.1 mg/kg	2006	
 Te verde - Te negro (negro, estacionado y seco)	0.2 mg/kg	2006	
 Nueces	0.05 mg/kg	2006	

(*): Igual o próximo al límite de detección de la técnica analítica

Nivel guía para peligro de toxicidad alimentaria (JMPR),

ADI = 0-0.005 mg paraquat ion / kg peso corporal (2003)

Comparando item por item alimentario, se observa que varios niveles LMR establecidos en SENASA para paraquat son distintos a los reportados en los documentos de organismos internacionales, si bien en general se encuentran dentro del rango normatizado por las autoridades regulatorias de Europa y Estados Unidos de Norteamérica.

Resumen Plan Vegetal SENASA – Ciclo 2019

A continuación se transcribe la lista de residuos que se incluyen actualmente en los monitoreos que realiza SENASA para monitorear los cumplimientos de la BPAs (Buenas Prácticas Agronómicas) y hacer un seguimiento de desvíos de uso (usos en aplicaciones para las cuales no existe registro válido vigente).

“Paraquat”

Productos	Activos Grupo 1
Arándanos - Cereza- Ciruela - Durazno-Pelón – Uva	Abamectina-Avermectina; Acefato; Acetoclor; Aldrin; Azoxistrobina; Benomil; Benzoato de Emamectina; Bifentrin; Boscalid; Bromopropilato; Captan; Carbendazim; Carbofuran; Cipermetrina; Clorantraniliprole; Clorotalonil; Clorpirifos etil; Cyprodinil; DDT; Dicofol; Dieldrin; Difenconazole; Dimetoato; Ditianon; Diuron; Endosulfan Sulfato; Epoxiconazole; Etion; Fenarimol; Fenazaquin; Fenhexamid; Fludioxonil; Flufenoxuron; Flutriafol; Folpet; Gamacialotrina-Lambdacialotrina; Heptacloro; Hexaconazole; Imazalil; Imidacloprid; Iprodione; Lindano; Linuron; Lufenuron; Metalaxil–m-isomero; Metamidofos; Metil Azinfos; Metil Tiofanato; Metolacloro; Metomil; Metoxifenocida; Myclobutanil; Novaluron; Penconazole; Propamocarb; Propargite; Pyraclostrobin; Pyrimetanil; Spinosad; Spirodiclofen; Tebuconazole; Tiametoxam; Trifloxistrobin

Productos	Activos Grupo 2
Manzana - Pera	Abamectina; Avermectina; Acefato; Acetamiprid; Aldrin; Azociclotin; Azoxistrobina; Benomil; Bifentrin; Boscalid; Captan; Carbaryl; Carbendazim; Carbofuran; Cipermetrina; Clofentezine; Clorantraniliprole; Clorpirifos etil; Cyhexatin; DDT; Deltametrina; Decametrina; Diazinon; Diclorprop; Dicofol; Dieldrin; Difenilamina; Difenconazole; Diflubenzuron; Dimetoato; Endosulfan Sulfato; Fenarimol; Fenazaquin; Fenitrotion; Fenpiroximato; Fentoato; Fenvalerato; Fludioxonil; Fosmet; Gamacialotrina-Lambdacialotrina; Heptacloro; Imazalil; Imidacloprid; Iprodione; Lindano; Linuron; Mancozeb; Mercaptotion-Malation; Metamidofos; Metidation; Metil Azinfos; Metil Tiofanato; Metomil; Metoxifenocida; Myclobutanil; Novaluron; OrtoFenilfenol; Permetrina; Pyraclostrobin; Procimidona; Propargite; Pyrimetanil; Pyriproxyfen; Spinetoram; Spinosad; Spirodiclofen; Tebuconazole; Tiabendazol; Tiacloprid; Tiametoxam, Trifloxistrobin

“Paraquat”

Productos	Activos Grupo 3
Lima - Limón-Mandarina- Naranja – Pomelo	2,4 D; Abamectina Avermectina; Acefato; Aldicarb; Aldrin; Azoxistrobina; Benomil; Bifentrin; Bromopropilato; Buprofezin; Captan; Carbaryl; Carbendazim; Carbofuran; Cipermetrina; Clorotalonil; Clorpirifo setil; DDT; Deltametrina Decametrina; Diazinon; Dicofol; Dieldrin; Difenconazole; Dimetoato; Diurón; Endosulfan Sulfato; Fenazaquin; Fenitrotion; Fention; Fentoato; Fenvalerato; Fludioxonil; Fosmet; Gamacalotrina-Lambdacialotrina; Guazatine*; Haloxifop; Heptacloro; Imazalil; Imidacloprid; Lindano; Linuron; Mancozeb; Mercaptotion Malation; Metalaxil–misomero; Metamidofos; Metidation; Metil azinfos; Metil Tiofanato; Metomil; Orto Fenilfenol; Permetrina; Pirimicarb; Procloraz; Propiconazole; Pyraclostrobin; Pyrimetanil; Pyriproxyfen; Spinosad; Spirodiclofen; Tebuconazole; Tiabendazol; Tiacloprid; Tiametoxam; Trifloxistrobin

Productos	Activos Grupo 4
Acelga - Ajo – Ananá- Apio - Banana – Batata - Cebolla- Espinaca – Frutilla - Kiwi- Lechuga – Mamón - Melón	2,4 D; Abamectina Abamectina Avermectina; Acefato; Acetamiprid; Acetoclor; Aldicarb; Aldrin; Azoxistrobina; Benomil; Bifentrin; Boscalid; Captan; Carbaryl; Carbendazim; Carbofuran; Cipermetrina; Cyproconazole; Cyprodinil; Clorantraniliprole; Clorotalonil; Clorpirifos etil; Clorpirifosmetil; Clorprofam; Ciflutrina; DDT; Deltametrina-Decametrina; Diazinon;Dicofol;Dieldrin; Difenconazole; Dimetoato; Endosulfan Sulfato; Epoxiconazole; Fenarimol; Fenazaquin; Fenitrotion; Fludioxonil; Flutriafol; Folpet; Fosmet; Gamacalotrina-Lambdacialotrina; Haloxifop; Heptacloro; Imazalil; Imidacloprid; Iprodione; Lindano; Linuron; Lufenuron; Metalaxil–m-isomero; Metamidofos; Metidation; Metil Azinfos; MetilTiofanato; Metiocarb; Metolacloro; Metomil; Metoxifenocide; Myclobutanil; Penconazole; Permetrina; Pyrimetanil; Pirimicarb; Procimidone; Procloraz; Prometrina; Propamocarb; Propargite; Spinosad; Tebuconazole; Tiabendazol; Tiametoxam; Trifloxistrobin

Según la información brindada por las autoridades de SENASA, paraquat no está incluido en los monitoreos sistemáticos de residuos en los lotes de productos (cereales, hortalizas, oleaginosas, etc.).

SENASA informa un **6,4% de muestras examinadas por el Plan Vegetal 2019 que no cumplieron** con los LMRs establecidos para residuos químicos (superaron los niveles máximos permitidos) (https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/resumen_resultados_2019_-_plan_2020.pdf). De los incumplimientos, en el caso de la matriz denominada **GRANOS** (cereales + legumbres + oleaginosas), **el incumplimiento fue nulo**.

“Paraquat”

7.3. Comportamiento Ambiental

7.3.1. Movilidad en suelo, agua, aire y biota

Una vez aplicados, los plaguicidas se desplazan entre los distintos compartimientos ambientales (aire, agua, suelo y biota) hasta el compartimiento ambiental hacia el cual tienen mayor afinidad. Este destino se encuentra determinado no solo por las propiedades físico-químicas del compuesto (presión de vapor, su coeficiente de partición octanol-agua y su solubilidad en agua) sino también por las características del medio con el que interactúa (Carlile B., 2006).

El comportamiento I del Paraquat en el ambiente puede resumirse de acuerdo a la Figura 7:

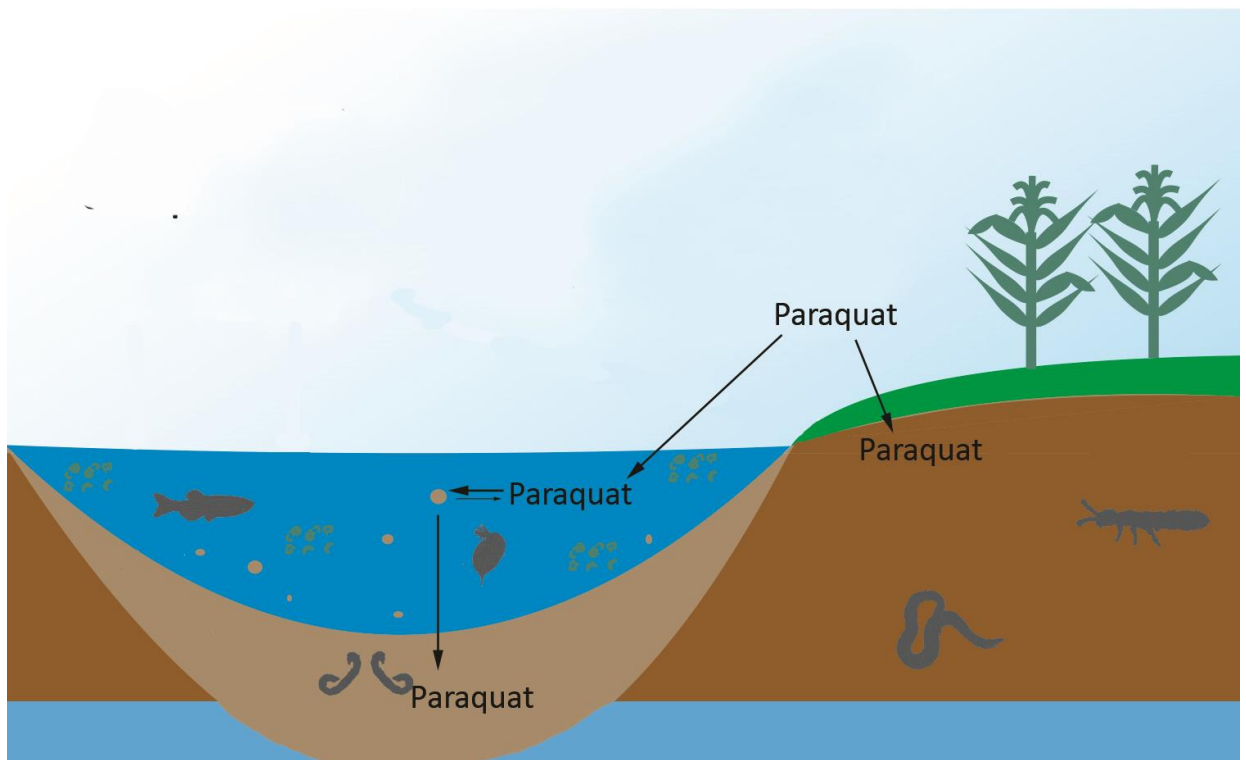


Figura 7: Distribución de Paraquat en el ambiente.

“Paraquat”

7.3.1.1. Comportamiento en la atmósfera

En las actividades agrícolas y hortícolas tendientes al control de las malezas, la mayoría de los herbicidas se introducen en los campos cultivados o en general al medio ambiente como aerosoles en una solución diluida del producto comercial. El Paraquat presenta una presión de vapor muy baja por lo que, una vez liberado al aire, existirá únicamente en la atmósfera como materia particulada en suspensión; luego de su liberación y movilización en el aire, es eliminado mediante deposición húmeda y seca (Bidleman T.F., 1988).

La capacidad de un plaguicida para evaporarse o permanecer en fase gaseosa está determinada principalmente por su presión de vapor. La volatilidad de un compuesto puede clasificarse en función de los valores de presión de vapor según:

Clasificación	Presión de Vapor ($\text{Pa m}^3 \text{mol}^{-1}$)
Alta	>100
Ligera	0.1 - 100
No volátil	<0.1

(Torri 2015)

El muy bajo valor de presión de vapor reportado para Paraquat indica que, una vez liberado al aire, existirá únicamente en la atmósfera como material particulado en suspensión. Luego de su liberación y movilización en el aire, es eliminado mediante deposición húmeda y seca (Bidleman T.F., 1988). El paraquat se mueve en la atmósfera, desde su sitio de aplicación, solamente adsorbido a partículas de suelo, por lo que no es esperable que sea transportado a grandes distancias.

El Paraquat suspendido en el aire es muy poco susceptible a la fotólisis directa de la luz solar ya que no contiene cromóforos que absorban a longitudes de onda >290 nm (Lyman W.J., 1990). Por este motivo, presenta un peligro potencial para los trabajadores rurales ya que puede ser inhalado desde sus fuentes de emisión al aire. Sin embargo, se ha visto que la principal vía de

“Paraquat”

ingreso al cuerpo humano es a través de la absorción dérmica (piel, mucosas, ojos, etc) desde el aerosol suspendido en el aire. (Zhou 2013; Tsai 2013).

7.3.1.2. Comportamiento en el suelo

Adsorción al suelo

El Paraquat contiene en su estructura molecular un nitrógeno (N) cuaternario que se ioniza completamente en soluciones acuosas generando una especie catiónica. La capacidad de formar cationes hace que el Paraquat sea fuertemente adsorbido a las partículas minerales del suelo, especialmente a la arcilla debido a la carga superficial negativa que estas presentan (Haque R., 1975; Stevenson F.J., 1972; WSSA 1989). La fuerza de la interacción depende del tipo de arcilla presente. Así, la caolinita, que presenta una red típica no expandible, adsorbe aproximadamente 3000 mg/ Kg de herbicida, mientras que la montmorillonita (de retícula expandible) adsorbe aproximadamente de 80000 mg/ Kg, esta significativa diferencia se debe a la capacidad que presentan las moléculas planas de Paraquat para intercalarse entre las capas de la red (Knight B.A.G. and Denny P.J., 1970). Por otro lado, la adsorción de Paraquat catiónico puede ocurrir también, a través de mecanismos de intercambio catiónico, a los grupos carboxílicos y fenólicos constituyentes de la materia orgánica, aunque dicha adsorción es notablemente más débil que en la arcilla (Khan S.K., 1980; Maqueda C., 1989; Sojo L.E., 1989).

El grado de sorción de un plaguicida en el suelo se expresa generalmente a través del coeficiente de reparto agua-suelo, o coeficiente de adsorción Kd , definido como:

$$Kd = \frac{[plaguicida]_{suelo}}{[plaguicida]_{agua}}$$

Debido a que la adsorción de gran parte de los plaguicidas ocurre mayormente sobre la materia orgánica del suelo, suelen normalizarse los valores de los coeficientes Kd en base al contenido de materia orgánica del suelo, para obtener el coeficiente de adsorción Koc :

$$Koc = \frac{Kd \times 100}{\%Corgánico}$$

Siendo %Corgánico el contenido de materia orgánica del suelo. La movilidad de un plaguicida en el suelo está directamente relacionada con los valores de Koc que presenta, siendo mayor su movilidad cuanto menor es su valor de Koc :

“Paraquat”

Clasificación	<i>Koc</i> (L/Kg)
Extremadamente móvil	<50
Muy móvil	50 - 150
Medianamente móvil	150 - 500
Ligeramente móvil	500 - 2000
Inmóvil	>2000

(Jenkins et al, 1999; Torri 2015)

Los valores de *Koc* reportados para paraquat (15473-1000000; 8400-40000000) (Gustafson D.I., 1993; Wauchope R.D., 1992; Reinbold K.A., 1979; Foster S.S.D., 1991; Kenaga E.E., 1980; Webb R.M.T., 2008; USDA 2001; Pesticides residues in food 2004, 182/1) indican que este herbicida no presentará movilidad en el suelo.

El riesgo de lixiviación de un plaguicida hacia el agua subterránea es estimado mediante el índice GUS (Groundwater Ubiquity Score, Gustafson 1988). Este índice depende de la persistencia (DT50) y la adsorción (*Koc*) del compuesto en el suelo (Kerle et al., 1996):

$$GUS = \log(DT50) \times [4 - \log(Koc)]$$

Según el índice de GUS los plaguicidas pueden clasificarse como:

Clasificación	Índice GUS
Lixiviables	>2.8
Intervalo de tansición	Entre 1.8 y 2.8
No lixiviables	<1.8

(Gustafson 1988)

“Paraquat”

Los estudios de campo y los estudios de lixiviación en columnas de suelo han demostrado que el Paraquat no lixivia en condiciones ambientales (Helling C.S., 1971; Riley D., 1991; Patiero-Moure M. 2007; Ouyang Y., 2004). Los valores de Índice GUS repostados para paraquat son menores a 1.8 (Amondham et al., 2006), lo que refleja el bajo potencial de lixiviación que presenta el paraquat. Sin embargo, algo de lixiviación de Paraquat puede ocurrir en condiciones favorables para la formación de coloides en el suelo (por ejemplo, con agua de baja conductividad electrolítica). En tales casos, el paso de coloides que contienen Paraquat adsorbido a través de los poros del suelo puede explicar el transporte del herbicida (Vinten A.J.A., 1983).

Persistencia en el suelo

La muy fuerte adsorción que presenta el Paraquat al suelo restringe su actividad biológica, impide que despliegue su acción herbicida o su impacto ecotoxicológico, y reduce su susceptibilidad a la degradación microbiana o la fotodescomposición (Burns R.G. and Audus L.J., 1970; Smith E.A. and Oehme F.W., 1991). La mayor tasa de degradación sería posible en el período inmediato posterior a la aplicación en el suelo mientras el herbicida se adsorbe débilmente en los componentes orgánicos del suelo. (Burns R.G. and Audus L.J., 1970; Ricketts D.C., 1999; Lee S.J., 1999; Murray R., 1997). La biodegradación del Paraquat es muy lenta al poco tiempo de su aplicación debido a su fuerte adsorción a la arcilla y a la materia orgánica (Calderbank A., 1976; WHO 1984; Haque R., 1975; Stevenson F.J., 1972; WSSA 1989).

Si bien el Paraquat no es intrínsecamente estable ni a la fotólisis ni al metabolismo microbiano en cultivos de laboratorio (Summers L.A., 1980), una vez en la matriz del suelo, una unión muy fuerte reduce su biodisponibilidad y, por lo tanto, ralentiza enormemente la degradación aeróbica por parte de los microorganismos del suelo.

El tiempo de vida media (DT50) de un plaguicida está definido como el tiempo (en días, semanas o años) requerido para que la concentración del plaguicida después de la aplicación se reduzca a la mitad, y es indicativo de la persistencia del plaguicida. La persistencia se define como el periodo durante el cual los plaguicidas retienen sus características físicas, químicas y funcionales en el ambiente luego de su emisión. La persistencia es de gran importancia puesto que, junto con la movilidad, determina en gran medida su comportamiento ambiental. Según su persistencia, los plaguicidas pueden clasificarse como:

“Paraquat”

Clasificación	Tiempo vida media
No persistente	<30 días
Moderadamente persistente	30 – 100 días
Persistente	>100 días

(Kerle et al., 2007)

Ensayos de larga duración (10-12 años) estiman una vida media (DT50) del paraquat en suelo entre 4.6 y 6.6 años, degradándose aproximadamente un 10 % del compuesto cada año. Estos valores permiten clasificar al paraquat como persistente en el medio ambiente. Los metabolitos intermedios principales el 4-carboxi-1-metilpiridio y la metilamina, para finalmente degradarse completamente a amoníaco, dióxido de carbono y agua (Fryer J.D., 1975, Huang Y., 2019). A su vez, no se observaron efectos residuales en cultivos posteriores a la aplicación de Paraquat (maíz, trigo, soja y césped bermuda) ni la detección de residuos de Paraquat en ninguno de los granos cosechados, siempre y cuando las dosis aplicadas (kg i.a./ha) fueran las recomendadas. Estos estudios emplearon Paraquat aplicado directamente al suelo desnudo o con poca vegetación, pero en la práctica, las malezas que se busca controlar interceptan una proporción sustancial del compuesto rociado, quizás hasta el 80 %, dependiendo de la cantidad de maleza presente y de su crecimiento. Por lo tanto, la rápida absorción al tejido vegetal y la fotólisis de superficie puede dar como resultado que las dosis que llegan al suelo sean menores que la cantidad aplicada, dependiendo de distintos factores como el cultivo o la maquinaria empleada para su aplicación, entre otros (Slade P., 1965; Slade P., 1966).

Si bien la fotodegradación del Paraquat en el aire no es significativa, puede ocurrir con bastante rapidez en las hojas de las plantas o en las superficies del suelo expuestas a la luz solar, ya que cuando está adsorbido en una superficie como las hojas de las plantas y el suelo, se produce una amplificación del pico máximo de absorción de luz de 275 nm a longitudes de onda más largas, que permitirán la absorción de suficiente radiación solar entre las longitudes de onda de 290 y 310 nm para iniciar la fotólisis (Calderbank A., 1976; MacBean C., 2008). La fotodegradación puede llegar a ser el mecanismo predominante de degradación del Paraquat en los suelos (Smith E.A. and Mayfield C.I., 1978), siendo los principales productos intermediarios el ion 4-carboxi-1-

“Paraquat”

metilpiridio y la metilamina (Calderbank A., 1976; Funderburk H.H., 1967). Estos productos son considerados de baja toxicidad y se descomponen fácilmente, por lo que no se espera que produzcan efectos ambientales adversos.

La volatilidad también es un factor determinante en la persistencia de un plaguicida en el suelo. Para estimar la volatilidad es importante considerar la presión de vapor y el valor de la constante de Henry (K_H). Mientras que la presión de vapor refleja la volatilización de un compuesto desde una superficie seca, la K_H indica el coeficiente de distribución del plaguicida entre la fase líquida (solución del suelo) y vapor. Altos valores de K_H se relacionan con una mayor tendencia a volatilizar desde la solución líquida del suelo. La volatilidad suele relacionarse con el K_H según:

Clasificación	K_H (atm m ³ /mol)
No volátil	$<3 \times 10^{-7}$
Baja volatilidad	$3 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-5}$
Moderadamente volátil	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$
Volátil	$>1 \times 10^{-3}$

Los muy bajos valores de presión de vapor y K_H que presenta el Paraquat indican que no presenta una significativa volatilización desde las superficies húmedas o secas del suelo, por lo que estos procesos no son importantes en la disipación ambiental de este herbicida (Lyman W.J., 1990).

7.3.1.3. Comportamiento en medio acuático

Si bien la solubilidad del plaguicida indica la facilidad con la que el compuesto se traslada en profundidad con el agua de lluvia o de riego, dicha movilidad depende de la afinidad del plaguicida por la fase sólida del suelo.

En el ambiente acuático el Paraquat es adsorbido por los sedimentos, el material particulado en suspensión y por la vegetación acuática. En este último caso, al descomponerse los tejidos de los organismos el compuesto es liberado y fijado al sedimento. Su persistencia en este medio puede ser mayor que en el suelo por la limitada disponibilidad de oxígeno (Chean 1998; Lee

“Paraquat”

1999). Al igual que lo mencionado para la movilidad suelo→aire, el bajo valor de K_H que presenta refleja que la volatilización desde la superficie del agua se considera un proceso de baja relevancia para los impactos ecotoxicológicos de Paraquat. Además, el Paraquat no experimenta procesos de hidrólisis ni fotólisis significativos entre pH 5-9 (Upton B.R., 1985; Parker S. and Leahey J.P., 1988).

Para estimar el potencial de un plaguicida para ingresar y almacenarse en los organismos vivos en relación con la concentración de esa misma sustancia en el medio circundante es importante considerar dos parámetros, el coeficiente de partición octanol-agua (K_{ow}) y el factor de bioconcentración (BCF). El coeficiente de partición octanol-agua (K_{ow}) es una medida de la distribución del plaguicida entre dos solventes inmiscibles, agua (polar) y n-octanol (relativamente no polar):

$$K_{ow} = \frac{[plaguicida]_{octanol}}{[plaguicida]_{agua}}$$

Se utiliza el n-octanol por ser un compuesto que simula la fase lipídica de la biota, reproduciendo el reparto entre fases acuosas y biológicas. Los plaguicidas que presentan bajos valores de K_{ow} (<10) se consideran hidrofílicos. Por el contrario, cuanto mayor es el K_{ow} , menos polar es la sustancia. El criterio utilizado por el Convenio de Estocolmo establece que se tomarán como bioacumulables aquellas sustancias con un $\log(K_{ow})$ mayor a 5.

Por otro lado, la bioconcentración se refiere al aumento en la concentración de un compuesto dentro del organismo que se da únicamente desde el agua o el aire. La magnitud de la bioconcentración que se expresa como el factor de bioconcentración (FBC), definido como:

$$BCF = \frac{[plaguicida]_{biota}}{[plaguicida]_{agua}}$$

El paraquat presenta un valor de $\log(K_{ow})$ menor a 5 y valores de BCF (factor de bioconcentración) de 0,05 a 6,9 reportados para la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), el pez luna verde (*Lepomis cyanellus*), el pez luna azul (*Mola mola*) y el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) (Cope O.B., 1966; Funderburk H.H., 1967; Papini et al., 2006). Estos bajos valores de

“Paraquat”

BCF sugieren que la bioconcentración en organismos acuáticos es baja, y según estos modelos utilizados, no sería un destino importante para el Paraquat.

Por lo tanto, el Paraquat se eliminaría por completo en la mayoría de las aguas superficiales en 8-12 días debido a la absorción a los sólidos en suspensión y los sedimentos del fondo. Una vez retenidos en estos compartimentos, la desaparición del Paraquat es lenta (Long K.W.J., 1996).

8. Efectos sobre la biota

8.1. Efectos en vertebrados acuáticos y terrestres

8.1.1. Vertebrados acuáticos

Efectos letales

En nuestro país se han publicado distintos trabajos evaluando la toxicidad del paraquat en varias especies acuáticas bioindicadoras como peces y anfibios, todos ellos en condiciones experimentales de laboratorio. En todos los trabajos se determinó la letalidad empleando formulaciones comerciales que contienen el principio activo paraquat.

En estudios donde se emplearon ejemplares adultos de la mojarra azul *Bryconamericus iheringii* como modelo experimental, se reportaron valores de CL50 48 h de 24,17 mg/L y de CL50 96 h de 20,21 mg/L (Di Marzio et al. 1993). El trabajo no aclara si utilizaron el principio activo puro o alguna variante comercial del paraquat (Tabla 3).

Para ejemplares adultos de madrecitas de agua dulce *Cnesterodon decemmaculatus* se reportaron CL50 48 h de 17,07 mg/L con paraquat contenido en la formulación comercial Osaquat® en ensayos de laboratorio semiestáticos. Cuando los ejemplares fueron tratados durante 96 h la CL50 fue de 9,41 mg/L para la misma formulación comercial (Di Marzio et al., 1994) (Tabla 3).

Por otra parte, en investigaciones donde se utilizaron alevinos de *C. decemmaculatus*, se reportó una CL50 48 h y una CL50 60 h de 5,2 mg/L para ambos tiempos empleando la misma formulación comercial Osaquat® (Tortorelli et al., 1990) (Tabla 3).

A nivel internacional, existen un número considerable de estudios realizados en peces que fueron expuestos a paraquat en condiciones de laboratorio. Se informaron valores de CL50 96 h para trucha arco iris de 19 mg/L y una NOEC de 8,6 mg de ión de paraquat/L en estudios realizados a

“Paraquat”

los 21 días con un sistema de flujo continuo (UE 2003). Otros autores reportaron que el paraquat era moderadamente peligroso para algunas especies de peces en la etapa juvenil (de Silva y Ranasinghe 1989).

Fytizas et. al, (1980), estimaron el tiempo letal necesario para inducir mortalidad en el 50% de los organismos expuestos (LT50) usando como modelo un pez óseo eurihalino *Mugil cephalus*, que fueron tratados con el formulado Gramoxone (20% a.i.) en condiciones experimentales de laboratorio. Los autores hallaron que la LT50 para 10 mg/L fue al cabo de 1 h de exposición. En otros ensayos, donde usaron bajas concentraciones de 1 mg/L, fueron necesarios 16 días para inducir el 50% de la mortalidad. Además, estos autores indicaron que luego del tratamiento con la dosis más alta (10 mg/L) los organismos que habían muerto a las 24 h de tratamiento mostraron daño generalizado a nivel de branquias, presencia de moco, hemorragias en hígado y riñón y la presencia de úlceras en el tracto digestivo (Fytizas et. al, 1980).

Diferentes estudios más recientes han señalado que la toxicidad también varía durante el desarrollo de los peces. La estimación de la CL50 a 48 h informada para para alevines de bagre (*Plecostomus commersoni*) reportada por el grupo argentino de Tortorelli et al. (1990) fue aproximadamente 74 veces mayor que la LC50 de 96 h de 0,07 mg/L reportada por Ayanda et al. (2015), quienes estudiaron la exposición aguda del paraquat en juveniles del bagre africano (*Clarias gariepinus*). Algunos autores han informado que las discrepancias en estos resultados podrían deberse al efecto de las variaciones en la temperatura, un factor importante que influye en la respuesta inmune (Salazar-Lugo et al., 2011). Los resultados reportados por Ayanda et al. (2015) concuerdan con una revisión previa realizada por Summers (1980) indicando que, a nivel subcrónico, los efectos adversos en peces adultos comienzan a partir de concentraciones de <1 mg ion paraquat/L dentro de un rango variable de tiempo. Sin embargo, en trabajos más recientes se han indicado que, los efectos agudos del paraquat ocurren a partir de concentraciones > 10 mg de ion paraquat/L influenciado por el efecto de la temperatura (Figueiredo-Fernandes et al. 2006; Parvez y Raisuddin 2006; Salazar-Lugo y col. 2011; Ma et al. 2014).

De manera general, los valores de CL50 reportados para Argentina en peces, abarcaron un rango de dosis de 5,2 a 24,17 mg/L para el caso de paraquat contenido en diferentes formulaciones comerciales. Aunque el número de especies examinadas es escaso, los valores de CL50 reportados para las especies analizadas en Argentina están comprendidos dentro del rango de los reportados por la literatura internacional.

“Paraquat”

Para el caso de anfibios, la CL50 96 h reportada para una especie ampliamente distribuida de Argentina como *Scinax nasica* o ranita de los baños, fue de 21,99 mg/L para paraquat contenido en la formulación comercial Gramoxone Super, cuando fueron expuestos los renacuajos en el estadio de Gosner 34 usando ensayos semiestáticos (Lajmanovich et al., 1998) (Tabla 3).

A nivel internacional, Vismara et al. (2000) y Linder, Barbitta y Kwaiser (1990), informaron una CL50 96 h de 1,3 mg / L en embriones de *Xenopus laevis*, lo cual indicaría que ocurren efectos adversos a niveles mucho más bajos que los reportados para las especies de Argentina, indicando la mayor sensibilidad de la especie modelo.

Efectos subletales

En cuanto a la evaluación de efectos subletales ejercidos por paraquat, para Argentina, Di Marzio et al. (1994) analizaron el efecto de distintas concentraciones de Osaquat® en un rango de 5,6-24 mg/L durante 48 y 96 h en *C. decemmaculatus*. Los autores encontraron que la actividad de la enzima colinesterasa aumentó de manera significativa en los peces expuestos a todas las concentraciones testeadas (Tabla 3).

Por su parte Tortorelli et al., (1991) analizaron en alevines de la especie *Plecostomus commersoni* diferentes efectos subletales a nivel morfológico y fisiológico luego del tratamiento durante 60 h con concentraciones de 0,6 a 20 mg/L del formulado comercial Osaquat®. Los autores reportaron variaciones significativas en la relación ancho/largo del cuerpo luego de la exposición con concentraciones a partir de los 5 mg/L del formulado. Asimismo, observaron a nivel fisiológico un incremento significativo en la ventilación opercular a partir de 0,6 mg/L y alteraciones de la función cardíaca con dosis de 1,3 mg/L del formulado comercial. A las concentraciones de paraquat recomendadas para el control de malezas acuáticas (0,1 a 2,0 mg/L), el trabajo mostró que la toxicidad se vio incrementada ya que se observó un patrón de natación errática, arritmias, lesiones branquiales y edemas (Tortorelli et al. 1990) (Tabla 3). Asimismo, observaron que la actividad de la acetilcolinesterasa no fue alterada al cabo de 60 días de exposición crónica, para todas las concentraciones ensayadas.

En estudios realizados en anfibios, Lajmanovich et al., (1998) analizaron los efectos subletales luego de la exposición al formulado Gramoxone Super en larvas de *Scinax nasica* que fueron expuestas durante 96 h a un rango de concentraciones de entre 6,48 y 18 mg/L. Los autores

“Paraquat”

informaron que la morfología branquial se vió significativamente alterada a partir de la menor dosis de exposición, indicando un efecto tóxico respiratorio agudo ejercido por paraquat (Tabla 3).

En estudios realizados por el grupo de investigación de Mussi et al., (2010) analizando la respuesta mecánica cuando usaron sistemas *in vitro* para la evaluación de paraquat, estos autores mostraron que embriones de la especie *Chanus arenarum* expuestos al principio activo en un rango de dosis de 2,5 a 1825 mg/L durante 2 h, mostraron que los embriones sufrieron alteraciones significativas a nivel morfológico, celular y subcelular luego de un período de recuperación de 96 h en ausencia del herbicida. Se reportaron alteraciones significativas durante el desarrollo embrionario con dosis de 25 mg/L de paraquat, observándose aletargamiento durante el desarrollo y malformaciones graves como anomalías de la cola, edema abdominal, desarrollo reducido de la cabeza y estructuras dorsales curvadas. Cuando se analizó la generación de especies reactivas de oxígeno, los autores observaron que las actividades tanto de la enzimas peroxidasa como catalasa no fueron alteradas. Por el contrario, los niveles de la superóxido dismutasa se vieron sensiblemente incrementados a partir de concentraciones de 25 mg/L en las etapas más allá de la gástrula en embriones que sobrevivieron al tratamiento con paraquat, sugiriéndose un papel importante de esta enzima en la respuesta antioxidante durante desarrollo embrionario temprano. Finalmente, el mismo grupo de investigación reportó un incremento significativo en el daño al ADN, observado como condensación de la cromatina, con concentraciones de 128 mg/L en diferentes etapas durante el desarrollo embrionario, incluso desde las más tempranas como el estadio de blástula (Tabla 3).

Existen numerosos estudios en la bibliografía internacional donde se han analizado daño oxidativo inducido por paraquat en diversas especies de peces. Cabe mencionarse que el trabajo de Tortorelli et al. (1990) fue uno de los primeros donde se propuso que paraquat ejercía daño oxidativo mediante peroxidación lipídica como uno de los principales mecanismo de toxicidad (Tortorelli et al. 1990).

Una gran cantidad de publicaciones se han centrado en el análisis de parámetros bioquímicos e histológicos en peces tanto en estudios de laboratorio como a campo (Parvez y Raisuddin 2006). Ayanda y col. (2015) encontraron que el paraquat causa variaciones en las actividades de las enzimas aminotransferasa, aspartato aminotransferasa, lactato deshidrogenasa y fosfatasa alcalina, indicando que el paraquat interfiere el sistema de defensa de los peces (Gabryelak y

“Paraquat”

Klekot 1985). Figueiredo-Fernandes et al. (2006) monitorearon si la temperatura y la condición sexual podían influenciar los niveles hepáticos de la superóxido dismutasa, glutatión reductasa y glutatión S-transferasa en ejemplares de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) expuestas a 0,5 mg ion paraquat/L usando 2 temperaturas diferentes (17 y 27 °C) durante 45 días. Los autores concluyeron que las actividades de superóxido dismutasa y glutatión S-transferasa dependían del sexo y eran mayores en los machos en comparación con las hembras para ambas temperaturas.

Efectos comportamentales

En estudios internacionales, se ha observado que la acción del paraquat sobre los peces depende de la especie, como lo demuestra el trabajo inicial de Earnest (1971), quien estudió los efectos una única aplicación de 1,14 mg/L de paraquat durante 30 min en un estanque de agua dulce que fue rociado con el herbicida en el estado de Colorado (USA). En el mismo se encontraban ejemplares de trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss*, mojarra de agallas azules *Lepomis macrochirus*, pez sol *Lepomis cyanellus* y el pez gato americano *Ictalurus punctatus*. Los autores observaron que los efectos agudos más evidentes se registraron al cabo de 24 y 48 h luego de la aplicación. La especie más afectada fue *Lepomis macrochirus* y la menos afectada fue *Ictalurus punctatus*. Se observó que el paraquat causó alteraciones del comportamiento en *Lepomis macrochirus* 3 h después de la aplicación al igual que una alta tasa de mortalidad (34%) luego de 48 h de tratamiento. Asimismo, se observaron alteraciones a nivel del sistema digestivo debido a la presencia de granulomas que afectaron a las células pancreáticas como una de las malformaciones más frecuentes Earnest (1971).

El estudio donde se analizó el comportamiento en ejemplares del pez cebra (*Danio rerio*), Bortolotto et al. (2014) realizaron un análisis comportamental analizando locomoción, interacción social y orientación de adultos tratados con paraquat a 10 y 20 mg / kg (aplicando 6 repeticiones de paraquat, una cada 3 días y durante 16 días) en comparación a un control. Estos autores reportaron que tanto la locomoción como la distancia recorrida disminuían luego de 24 h luego de cada aplicación y para ambas dosis. Un estudio similar fue realizado por Nunes et al. (2017) en *Danio rerio* tratados con 20 mg / kg de paraquat durante 4 a 6 meses observándose un aumento en el comportamiento agresivo, alteraciones de los patrones no motores asociados con

“Paraquat”

comportamientos de defensa y cambios en los parámetros redox del cerebro debido a una disminución significativa de la lipoperoxidación.

8.1.2. Vertebrados terrestres

Aves

No se relevaron trabajos argentinos que estudiaron el efecto de paraquat en aves. A nivel internacional, la USEPA, en su re-evaluación de paraquat, categoriza a este herbicida como moderadamente tóxico para las aves basándose en valores de DL50 agudo de 144 y 127 mg/kg para especies experimentales como el pato *Anas platyrhynchos*, o la codorniz *Colin virginianus*, respectivamente (USEPA, 1997). Sin embargo, la Unión Europea, en su evaluación de 2003, utiliza un valor de DL50 de 35 mg/kg para categorizar paraquat como altamente tóxico para las aves (European Commission, 2003). A pesar de utilizar valores de LD50 superiores, la evaluación de la USEPA concluye que existe un riesgo de toxicidad aguda para las aves a las dosis superiores de aplicación, el cual ocurriría principalmente luego de la aplicación, antes de que la solución de paraquat se seque (USEPA, 1997).

En cuanto a la toxicidad crónica, ambos territorios (USA y Europa) consideran que la alimentación debe contener más de 30 mg de paraquat por kg de alimento para observar efectos sobre la reproducción; o sea que la NOEC para reproducción es de 30 ppm. Este valor se basa en un ensayo realizado con el pato *Anas platyrhynchos* (USEPA, 1997; European Commission, 2003). Aunque que los cocientes de riesgo crónico y de efecto sobre la reproducción calculados por la USEPA indicarían la presencia de riesgo a las dosis superiores de aplicación, este ente regulatorio descarta la posibilidad de un riesgo crónico basado en la ingestión alimentaria, debido a que considera que el paraquat se inactiva una vez que se seca la solución (USEPA, 1997).

Sin embargo, como los estadios embrionarios de aves son especialmente sensibles al paraquat tanto la Unión Europea que la USEPA considera que el principal riesgo para las aves sería una aplicación directa de paraquat sobre los huevos; lo que significa que las aves que nidifican en el suelo serían las que tienen más riesgo de sufrir efectos sobre la reproducción (USEPA, 1997; European Commission, 2003). Efectivamente, paraquat es uno de los contaminantes ambientales que presenta la mayor toxicidad sobre los embriones de aves (LC50 approx. 1.7 kg/ha) y existe

“Paraquat”

evidencia que paraquat puede reducir significativamente la incubabilidad y reducir el crecimiento (Sartori y Vidrio, 2018).

8.2. Efectos en invertebrados acuáticos y terrestres

8.2.1. Invertebrados acuáticos

Cuatro publicaciones de investigadores argentinos evaluaron, a través de bioensayos de laboratorio, la toxicidad de paraquat en cinco especies de invertebrados acuáticos: *Daphnia magna*, *Daphnia spinulata*, *hyalella curvispina*, *Lumbriculus variegatus* y *Biomphalaria glabata* (Tabla 3). De estas especies, tres son autóctonas a la Argentina: *D.spinulata*, *H. curvispina* y *B. glabata*. De manera general, las EC50 de inmovilidad encontradas en los estudios argentinos varían entre 2.5 y 88 mg/L y, aunque el número de especies examinadas es limitado, no se nota diferencia entre la sensibilidad de las especies autóctonas y la de las otras especies. A nivel, internacional, el análisis de la base de datos ECOTOX, indica una gran variabilidad de los valores de EC50 de inmovilidad reportados para los invertebrados acuáticos, estos varían entre <0.005 y >100 mg/L (U.S. Environmental Protection Agency. 2020). Sin embargo, como una gran mayoría de los valores se ubican entre 1 y 20 mg/l (de manera similar a los estudios argentinos que ubicaban la toxicidad entre 2.5 y 88 mg/L), la toxicidad aguda de Paraquat en invertebrados acuáticos se puede clasificar entre la Categoría 2 de toxicidad moderada ($EC_{50} > 1$ y ≤ 10 mg/L) y la Categoría 3 de toxicidad baja ($EC_{50} > 10$ y ≤ 100 mg/L), según el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (Naciones Unidas, 2019).

Es importante resaltar que 2 trabajos argentinos evaluaron el impacto de una exposición crónica (30 y 60 días) a Paraquat en comunidades nativas de zoobentos y zooplancton (Tabla 3). Estos trabajos realizados con comunidades de 40 taxa de invertebrados autóctonos distintos demostraron la presencia de alteraciones en la biomasa y la abundancia de los distintos organismos a partir de una concentración de 0.1 mg/L (Gnagneten, 2002; Gnagneten y Marchese, 2003). Estos trabajos ubican, entonces, la toxicidad crónica de Paraquat en invertebrados acuáticos en la Categoría 1 de mayor toxicidad ($EC_{50} \leq 1$ mg/L), según el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (Naciones Unidas, 2019).

8.2.2. Invertebrados Terrestres

Un solo trabajo argentino evaluó el impacto de paraquat sobre un invertebrado terrestre. Se trata del trabajo de la tesis doctoral de Clavijo Lara (2017) en el cual se demostró el aumento de especies reactivas de oxígeno y de la expresión de genes relacionado al estrés oxidativo en individuos del nematodo *Caenorhabditis elegans* expuestos a una concentración alta (500mg/L) de paraquat. *C. elegans* es una especie ampliamente utilizada como modelo experimental y que también se puede encontrar al estado natural en Argentina.

A nivel internacional, se reporta que paraquat es poco toxico para las lombrices terrestres ya que es poco biodisponible y queda secuestrado cuando se combina fuertemente con las partículas de suelo (Sartori y Vidrio, 2018). Las DL50 a 14 días reportadas son mayores a 1000 ppm (European Comission, 2003, U.S. Environmental Protection Agency. 2020), y no se observaron efectos adversos en un estudio a campo en el cual se monitoreo durante un año el impacto de una aplicación de paraquat de 720kg/ha sobre las poblaciones de lombrices (European Comission, 2003).

Abejas

No se relevaron trabajos argentinos con abejas. A nivel internacional, la USEPA, en su re-evaluación de paraquat, categoriza a este herbicida como prácticamente no toxico en abejas, basándose en valores de DL 50 de contacto de 50.9 - 72 μg ia/abeja y DL50 oral de 19.5 - 31 μg ia/abeja (USEPA, 1997; FAO, 2003). Sin embargo, los valores de DL50 de contacto y DL50 oral reportados por la Unión Europea en su evaluación de 2003 corresponden a 9.26 y >9.06, razón por la cual categorizan a paraquat como de toxicidad moderada para las abejas (European Comission, 2003). Asimismo, estudios de laboratorios reportaron un efecto de paraquat sobre el desarrollo embrional de las larvas de abeja a concentraciones muy bajas (Cousins et al., 2013), y la exposición paraquat ha sido asociada a eventos de mortandad de abeja en el Reino Unido (Fletcher and Barnett, 2003).

8.3. Microorganismos

La muy fuerte adsorción del paraquat al suelo reduce rápidamente su biodisponibilidad en el medio ambiente, pudiendo persistir durante varios años ligado al suelo (Ye et al., 2008). Se ha

“Paraquat”

propuesto que su adsorción es capaz de desactivar el equivalente de cientos o incluso miles de aplicaciones de paraquat en una amplia gama de suelos (Roberts et al., 2002). Sin embargo, a pesar de esta interacción, el paraquat puede sufrir una lenta degradación bajo una variedad de condiciones. Químicamente el paraquat es estable en soluciones ácidas o neutras, pero se hidroliza a $\text{pH} > 12$. Más relevante para las condiciones ambientales es su rápida fotodegradación en superficies expuestas a la luz, por ejemplo, las superficies de las plantas (Slade, P. 1966) o los primeros centímetros del suelo (Hebert V.R. 1990; Rongchapo et al. 2016; Jaiswal et al. 2017). La fotodegradación en las superficies del suelo puede ocurrir durante varias semanas y depende de la intensidad de los rayos ultravioleta en el rango de longitudes de onda de 285 a 310 nm (Funderburk, Jr., H.H 1988; Jafarinejad 2015; Zahedi et al. 2015). El paraquat también se somete a fotólisis en solución acuosa a 257 nm para formar la N-metilbetaína del ácido isonicotínico y posteriormente el clorhidrato de metilamina (Slade, P. 1965).

Tanto los estudios de laboratorio como los de campo han demostrado que el paraquat es intrínsecamente biodegradable por los microorganismos del suelo, incluida una variedad de bacterias y hongos (Funderburk, H. 1967; Summers, L.A 1980; Dyson, J.S 1997; Ricketts, D. 1998; Ricketts 1999; Roberts et al., 2002; Ismail et al., 2011; Wu et al. 2013). Aunque hay pocos informes de especies microbianas capaces de metabolizar el paraquat como única fuente de carbono (Imai, Y. 1989; Tu y Bollen 2006), hay muchos ejemplos de cometabolismo en presencia de otra fuente de carbono ya que el herbicida puede actuar como la única fuente de N (Carr et al., 1985). La degradación puede ocurrir tanto en condiciones aeróbicas (Ismail et al., 2011) como anaeróbicas (Lee et al., 1995), experimentos de laboratorio in vitro (Carr et al., 1985) o en estudios de disipación de campo (Amondham et al., 2006). Es probable que la degradación se produzca a través de la desmetilación seguida de la escisión del anillo (Baldwin, B.C 1966). También se ha observado una apreciable degradación microbiana del paraquat absorbido en la superficie de las hojas (Lee et., 1995). Por lo tanto, el comportamiento del paraquat en el suelo se caracteriza por una fuerte adsorción que hace que la mayor parte del mismo no esté disponible biológicamente, pero esta fracción está en equilibrio con una concentración extremadamente pequeña en la solución del suelo que está sujeta a biodegradación. Los microorganismos solo pueden utilizar y degradar menos del 1% del paraquat presente en el suelo (Roberts et al., 2002) y su vida media puede ser de hasta 3-6.6 años (Hance et al., 1980; Pateiro-Moure et al., 2009). Alexander (1999) concluyó que los microorganismos podrían degradar completamente el paraquat del suelo en 6 años. A su vez, la adsorción de paraquat en un suelo particular dependerá de la cantidad y tipo

“Paraquat”

de minerales arcillosos y, en menor medida, la cantidad de materia orgánica del suelo. La cinética de adsorción es a través de un proceso bifásico. Inicialmente, la mayor parte del paraquat que entra en contacto con el suelo se adsorbe rápidamente, seguido por una etapa de adsorción más lenta que da como resultado un equilibrio estable. Se cree que esta segunda fase implica una difusión lenta a sitios de adsorción menos accesibles (Coats, G.E. 1964; Knight, B.A.G. 1970). El papel que juegan los diferentes minerales arcillosos y materia orgánica en el comportamiento del paraquat depende claramente de varios mecanismos diferentes. La adsorción rápida primaria del paraquat es a través del intercambio catiónico, donde las moléculas de paraquat con carga positiva son atraídas hacia los minerales y materia orgánica cargados negativamente en el suelo. También se han informado otros procesos, a saber, fuerzas de van der Waals, formación de complejos de transferencia de carga y enlaces de hidrógeno (Roberts et al., 2002).

Se han reportado varios microorganismos, incluidos hongos, bacterias y levaduras, que degradan eficazmente al paraquat (Wu et al., 2013; Bai et al., 2014). Estos microorganismos se han aislado de suelos contaminados y se han depositado en bancos de cultivos microbianos. Cuatro cepas bacterianas, incluidas *Aerobacter aerogenes*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus cereus*, se han caracterizado por la mineralización completa de paraquat y su utilización como única fuente de carbono o nitrógeno (Tu y Bollen, 2006). También demostraron capacidad para degradar paraquat bacterias como *Oscillospira* sp. BCK-1, *Clostridium prazmowski* BCK-2 y *Sporohalobacter orenetal* BCK-3 (Han et al., 2014), *Pseudomonas putida* (Zauscher et al., 2002), *Enterobacter cloacae* (Wu et al., 2013) y *Flavobacterium* spp. (Murray et al., 1997).

Algunos estudios han revelado que el uso de cultivos bacterianos mixtos (consorcio) dio como resultado una mayor degradación del herbicida (Nawong et al., 2018; Tian et al., 2018), por ejemplo, un cultivo mixto comprendido por *Roseateles terrae*, *Bacillus* sp., *Escherichia coli* y *P. fluorescens* (Li et al, 2017) y el tapete microbiano patentado (consorcio de cianobacterias [*Oscillatoria* sp.] y bacterias) utilizado por Murray, Phillips y Bender (1997).

Además de las bacterias, los sistemas fúngicos también pueden degradar eficazmente el paraquat, incluso a tasas mayores. *Lipomyces starkeyi* Lod y Rij (Burns y Audus 1970; Carr et al., 1985; Alexander, 1999) y los hongos *Neocosmospora vasinfecta* (Funderburk y Bozarth 1967) presentan una gran capacidad para degradar el paraquat, principalmente en condiciones aeróbicas. Los estudios de biodegradación muestran que los microorganismos no exhiben una

“Paraquat”

eficiencia similar en la degradación de diferentes concentraciones de paraquat (Camachomorales et al. 2017b; Camachomorales et al. 2017a).

Hasta la fecha, no se han informado las vías de degradación del paraquat en los distintos microorganismos. Se sabe que el primer paso en la biodegradación es la desmetilación del paraquat para formar monoquat. Luego, la escisión oxidativa del anillo del monoquat para formar el ión 4-carboxi-1-metilpiridinio (Dinis-Oliveira et al., 2008). El ión 4-carboxi-1-metilpiridinio se degrada fácilmente en el suelo en metilamina y CO₂ por la actividad microbiana (Singh y Singh, 2016). La metilamina puede ser utilizada como fuente de nitrógeno y carbono para el crecimiento microbiano. Los productos intermedios identificados de la fragmentación del anillo son los ácidos carboxílicos oxalato, formiato y succinato, mientras que la metilamina y el dióxido de carbono se detectaron como los metabolitos finales. Sin embargo, la enzimología de la degradación del paraquat rara vez se informa y no se han identificado otros intermediarios. Los microbios que degradan el paraquat podrían utilizar el producto de las vías ascendentes de la energía celular a través de las vías del ácido glicolítico y tricarboxílico (Huang et al., 2019).

Existen discrepancias acerca del efecto que ocasiona el paraquat en la microbiota del suelo. Ensayos de larga duración concluyeron que las aplicaciones repetidas de paraquat al suelo no afectan a las poblaciones microbianas ni a la biomasa (propágulos totales, algas, bacterias, hongos, actinomicetos y la levadura *Lipomyces starkeyi*), sólo a veces se insinuaba una pequeña diferencia en el número de hongos y *L. starkeyi* (Roberts et al., 2002). Por el contrario, otros trabajos consideran al paraquat tóxico para los hongos y las bacterias del suelo, lo que provoca una reducción de su población y diversidad (Gadkari D 1988; Sahid et al., 1992). En este sentido, la aplicación de Gramoxone puro ha demostrado que el paraquat suprime las bacterias cultivables del suelo (Sebiomo, A 2011). El paraquat en mezcla con diquat en herbicidas comerciales ha ocasionado un incremento en los hongos del suelo (Mekwatanakarn, P. 1987), una reducción en los nematodos y bacterias del suelo y una supresión en la diversidad de nematodos (Yeates, G.W. 1976).

“Paraquat”

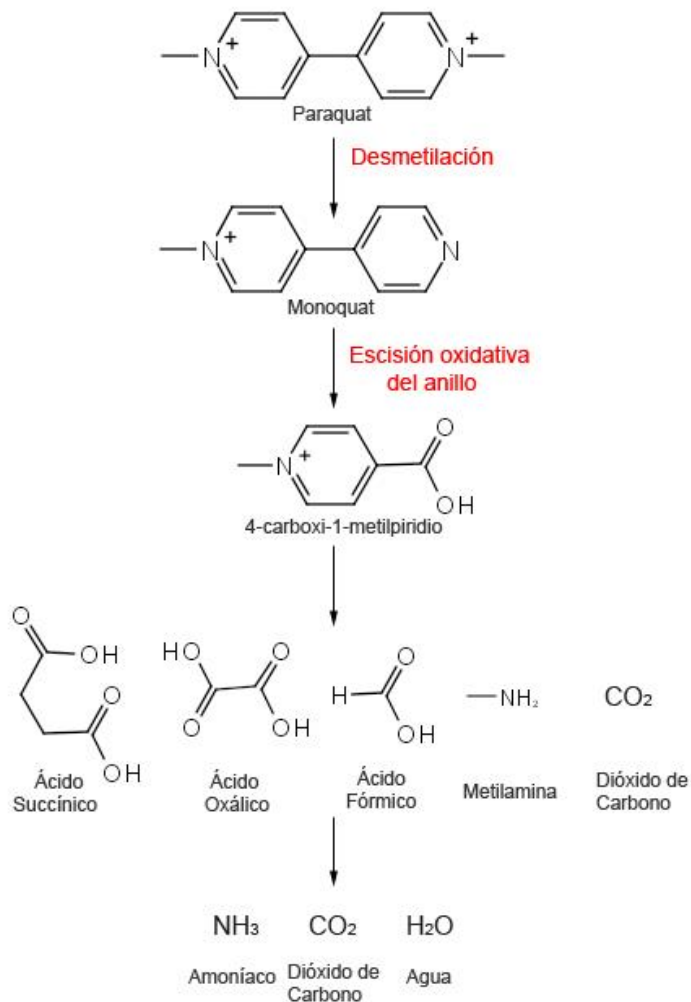


Figura adaptada de Huang et al., 2019

8.4. Algas, vegetales acuáticos y terrestres

Algas

Tres publicaciones de investigadores argentinos evaluaron el impacto de paraquat sobre el crecimiento poblacional de cuatro especies de algas. La totalidad de las especies de algas evaluadas son especies estándares, no necesariamente originarias de la Argentina (Tabla 3). En un solo caso, para *Scenedesmus quadricauda*, se evaluó tanto la cepa estándar (CAP271/21)

“Paraquat”

que una cepa originaria del Río Lujan, Buenos Aires. En este caso, la cepa autóctona resultó ser 6.5 veces más sensible que la cepa estándar; las EC50 obtenidas para la cepa estándar y la cepa autóctona siendo 0.22 y 1.3 mg/L, respectivamente. Sin embargo, el relevamiento de bases de datos internacionales (Lewis et al., 2016; U.S. Environmental Protection Agency, 2020), indica la existencia, a nivel mundial, de variedades de algas mucho más sensibles que la cepa autóctona de *S. quadricauda*, siendo común encontrar en la literatura internacional valores de EC50 diez veces menores; (i.e. entre 0.01 y 0.02 mg/L) y con extremos de sensibilidad de hasta 0.0001 – 0.0002 mg/L en algunos casos. Estos valores internacionales, ubican la toxicidad aguda de Paraquat en algas en la Categoría 1 de mayor toxicidad ($EC50 \leq 1$ mg/L), según el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (Naciones Unidas, 2019).

Respecto a vegetación acuática, solamente un trabajo argentino evaluó el impacto de paraquat sobre una planta no-blanco. Se trata de un estudio en el cual se demostró que paraquat en altas concentración de hasta 1000mg/L no aparenta causar daño oxidativo a la macrofitas estuarial *Spartina densiflora*, ya que no se observa un aumento significativo de malondialdehído luego de 2h de exposición.

8.5. Efectos sobre comunidades acuáticas y terrestres (micro-mesocosmo-campo)

(En preparación)

8.6. Efectos en animales de laboratorio extrapolables al hombre

Tejidos Susceptibles – Identificación de Peligros

En general, los reportes de casos de intoxicación aguda con productos formulados con paraquat como único ingrediente herbicida a lo largo de las últimas ~4 décadas reflejan situaciones de ingesta deliberada de niveles toxicológicamente efectivos y accidentes. La gravedad de las intoxicaciones es proporcional a la dosis ingerida, y el daño a la salud puede ser desde la hospitalización hasta la muerte pocos días después del episodio de exposición oral. Comparado a muchos otros ingredientes activos de productos plaguicidas, la frecuencia de intoxicaciones agudas de etiología accidental u ocupacional no se considera entre las más altas. En los casos de intoxicaciones que requirieron hospitalización luego de exposición involuntaria/inadvertida, se

“Paraquat”

ha verificado inadecuación en la manipulación del producto o manejo incorrecto o incompleto del tratamiento, especialmente en los casos de exposición dermal. El riesgo de toxicidad por exposición aguda a paraquat es críticamente dependiente de la vía de exposición.

Por otro lado, la letalidad de paraquat en casos de intentos de suicidio o accidentes que involucren exposición neumotóxica es de las más altas en países en desarrollo que presentan usos autorizados (ver por ejemplo: Dawson y col., 2010).

La mayoría de los conceptos que siguen fueron extraídos de documentos de revisión especializada de organismos regulatorios internacionales (principalmente USEPA y OMS). En el caso de puntos que incluyen hallazgos divergentes o conclusiones contradictorias en distintos estudios, se presenta también una síntesis y discusión de trabajos adicionales que no fueron considerados en esos documentos regulatorios o que fueron publicados más recientemente.

Toxicocinetica en mamíferos

Absorción – Vía oral

Según estudios en animales de laboratorio, una vez que el paraquat ingresa por vía oral (extrapolable a casos de etiología accidental; exposición alimentaria; acción delictiva o suicida) se absorbe rápidamente un pequeño porcentaje en el tracto gastrointestinal. Luego de recorrer el estómago y el intestino, la gran mayoría del ingrediente activo de productos formulados con este herbicida se excreta por vía fecal; <10% de la dosis ingerida de paraquat (incluyendo parental y una proporción menor de productos de metabolización) son eliminados por orina luego de su absorción y distribución.

Sin embargo, la absorción puede ser algo mayor en algunos mamíferos y bajo condiciones particulares de exposición. En perro privado de comida antes de la dosificación oral, solo una proporción menor de la dosis baja administrada se absorbió y lo hizo rápidamente, principalmente en el intestino delgado; el pico de concentración en plasma se alcanzó 75 min post-dosificación. Hasta 6 horas post-administración de 0.12 mg/kg, 46-66% ya se había absorbido. Al administrar 2-5 mg/kg, la capacidad de absorción se redujo a 22-38% y 25-28% de la dosis oral, respectivamente. Existe evidencia de animales experimentales que sugiere que las mucosas gastrointestinales dañadas (previamente, o por la coexposición a surfactantes no iónicos) incrementa la absorción de paraquat luego de su ingesta (WHO, 1984).

“Paraquat”

En animales de laboratorio (rata-ratón), la concentración sanguínea máxima se alcanza dentro de 1-6 h post-ingesta. De lo que se absorbe, no hay evidencias de concentración selectiva en ningún tejido/órgano del cuerpo. La presencia de comida en el tracto digestivo reduce la absorción sistémica por vía oral, y si bien un bajo % pasa a la vascularización porta-hepática, PQT puede ser detectado sin transformaciones en orina a partir de 1 h post-deglución del producto. Más allá de lo que haya ingresado a la sangre, los niveles en sangre declinan lentamente luego de alcanzar el pico de concentración plasmática (puede transcurrir >24 h). También en rata, durante el primer y segundo día a partir del episodio de intoxicación, la relación de concentraciones pulmón/sangre aumenta hasta un valor >>1. Esto se corresponde con el mejor pronóstico (menor letalidad) en pacientes intoxicados a los cuales se los trató rápidamente (primeros minutos-horas post-ingesta) y eficazmente para limitar la absorción de la carga tóxica presente en la luz intestinal, o cuando se acelera la eliminación por medio de diálisis u otros métodos de estimulación de la excreción urinaria y fecal, lo cual resulta en una concentración máxima (C_{max}) mucho menor en pulmón. O sea, no sólo la concentración plasmática de paraquat es un marcador pronóstico de severidad de la intoxicación, sino también el tiempo que niveles farmacológicamente activos estuvieron circulando por el circuito sanguíneo mayor y el cardiopulmonar. Además, existen datos que sugieren que en los humanos esta cinética de absorción intestinal, distribución sanguínea y captación/acumulación en parénquima pulmonar es algo más rápida que en rata, con caída rápida de la concentración plasmática hasta las 15 h que siguen a T_{max} (tiempo en el que se alcanza C_{max}), y luego de [$T_{max}+15$] horas, la mayoría de la absorción ya ocurrió, y la disminución de la concentración plasmática es más lenta. Por lo tanto, cerca de 24 h post-exposición la concentración sanguínea en humanos llega a niveles mucho más bajos que la C_{max} , y la eficacia de las terapéuticas con adsorbentes (por ejemplo, carbón activado) sólo es óptima si el tratamiento es administrado dentro de las primeras horas, idealmente < 1h post-ingesta.

La piel representa una barrera eficiente para la absorción sistémica de paraquat. Estudios de administración subcutánea en animales permiten mostrar parcialmente lo que ocurriría luego de la exposición repetida de la piel a lo largo del tiempo, y la potencial (teórica) formación de depósitos sub-dermales de paraquat. En el caso de la vía oral, la mayoría de la carga de una dosis única de 4-6 mg/kg de la sal dicloruro de paraquat es principalmente eliminada con la excreta: se reporta que esta proporción fue de $\geq 93\%$. Luego de la inyección subcutánea de 21-23 mg/kg de metilsulfato de paraquat, 73-96% y 14-16% se detecta en orina y heces, respectivamente.

“Paraquat”

Si bien paraquat tiende a permanecer en la luz intestinal sin absorberse, se propone que existen microorganismos que lo metabolizan, dado que un % considerable (hasta ~30%) del herbicida aparece en la materia fecal ya metabolizado. En estudios de paraquat marcado isotópicamente, se verifica que una proporción menor de los metabolitos de la descomposición microbiana adquieren mayor capacidad de absorción a través del epitelio intestinal que paraquat. Se propone que la corrosividad de paraquat a nivel del epitelio intestinal podría aumentar la facilidad para que se absorba como tal y también acelerar el ingreso de sus metabolitos. De cualquier modo, los estudios en rata concuerdan que solo una proporción menor de paraquat logra ingresar a la sangre a través del epitelio intestinal. La alta proporción de la dosis oral que se elimina por materia fecal no debe interpretarse como una baja peligrosidad: estudios en ratas y monos administrados dosis letales de paraquat radiomarcado por vía oral mostraron valores absolutos de C_{max} (plasma) del orden 2-5 mg/mL (Murray y Gibson, 1974).

Luego de administración subcutánea de una dosis relativamente baja en rata se estimó un $T_{max} = 20$ min. Como la concentración en pulmón parece ser proporcional al tiempo que paraquat circula en sangre, exposiciones a niveles altos por vía dermal deben recibir tratamiento de descontaminación antes que se absorba una cantidad toxicológicamente relevante, evitando así toxicidad sistémica y daño pulmonar irreversible. Es pertinente mencionar el trabajo de Chui y col. (1988) en el cual se administró una dosis única de dicloruro de paraquat por vía oral (po), dermal, intravascular (iv), intratraqueal o intranasal. Si bien la eliminación acumulativa de paraquat por orina y heces siguió las mismas tendencias que se mencionaron previamente (ver tabla que sigue), este trabajo tiene la relevancia de haber usado dosis bajas mucho más representativas y extrapolables a escenarios de exposición repetida en zonas vulnerables en humanos.

“Paraquat”

Cumulative Urine and Feces Excretion in Rats after Iv, Po and Nose-Only Exposure to [¹⁴C]Paraquat			
Parameter	Cumulative Dose Excreted		
	Iv (%)	Po (%)	Aerosol Inhalation^b (nmol)
Urine			
1 day	95.0 ± 4.1 ^a	19.8 ± 4.1	20.5 ± 6.5
2 day	96.5 ± 3.9	20.8 ± 4.1	23.8 ± 6.9
3 day	97.2 ± 3.9	21.2 ± 4.1	
Feces			
1 day	0.9 ± 0.3	49.8 ± 17.1	45.6 ± 6.2
2 day	1.9 ± 0.1	66.8 ± 15.1	109.8 ± 30.9
3 day	2.5 ± 0.6	69.1 ± 13.6	

^aThe data are mean ± SD (n = 5).
^bAerosol inhalation in a nose-only exposure chamber.

Extraído de Chui y col., 1988

La dosis oral administrada en bolo en ratas machos (adultos jóvenes) en este estudio (0,04 mg/kg) bien podría simular un caso de exposición ocasional o frecuente de un trabajador o residente de áreas agrícolas. Al usar esta dosis oral claramente subtóxica el % de dosis que luego se encuentra en orina es ~20-22%, sugiriendo que hasta ¼ - 1/5 de lo que llega al tracto digestivo puede pasar a circulación sistémica, lo cual ya no es tan bajo como las observaciones de <10% para otros estudios que usaron dosis ip mucho más altas, en muchos casos letales. Entonces es posible proponer que las dosis bajas pueden potencialmente transferir a los tejidos blancos dosis relativamente mayores (expresado como masa de paraquat que se capta en pulmón o riñón por cada mg/kg administrado oralmente) que las proporciones que informan los estudios de dosis altas, lo cual puede ser muy relevante para la evaluación de riesgo de toxicidad por exposición

“Paraquat”

crónica a productos formulados con este herbicida. Una comunicación en un congreso científico que evaluó casos particulares de bioacumulación de paraquat en rata planteo preocupación por el escenario diferencial de la exposición ocupacional repetida a dosis bajas en comparación a los casos de intoxicación grave con una dosis única alta cuasi-letal (Yoovathaworn y col., 2008). Al no poder encontrarse una publicación completa (full paper) en revistas indizadas con evaluación por pares sólo se menciona este trabajo como evidencia preliminar por su potencial impacto, pero que requiere jerarquización para ser considerado al mismo nivel de la evidencia sintetizada a partir de otros estudios relevados.

En síntesis, la ventana de tiempo para practicar procedimientos médicos de emergencias es del orden de 10^1 - 10^2 min para tratar de evitar daños irreversibles a la piel, órganos y sistemas internos, o incluso la muerte.

Distribución

La captación en órganos y tejidos en mamíferos es dependiente del grado de vascularización. El pulmón, por su fisiología y perfusión sanguínea recibe un daño considerable luego de cada episodio de intoxicación con paraquat. Los riñones, el hígado y el corazón son también tejidos blancos primarios relacionados al riesgo de muerte en casos de intoxicación oral aguda grave (reportes de intentos de suicidio). La movilidad de paraquat entre estos 4 órganos y la sangre es relativamente rápida (orden minutos-horas). C_{max} en riñón y pulmón se alcanza luego de <1h. La vida media de paraquat en pulmón es mayor que en otros tejidos altamente perfundidos, lo cual es coherente con la alta vulnerabilidad de este órgano.

La función renal falla luego de exposición oral a niveles del orden 20 mg/kg, y esto empieza a ocurrir antes que se elimine una proporción relevante de lo que se absorbió inicialmente. De este modo, la pérdida de funcionalidad renal enlentece la eliminación de paraquat en sangre, favoreciendo su captación y acumulación en tejidos susceptibles. Al deteriorarse la función renal, aun con una reducción relativamente menor de la velocidad de eliminación por vía urinaria, C_{max} en sangre puede aumentar varias veces.

La cinética de eliminación de paraquat es bifásica: inmediatamente después de la absorción intestinal el aumento del nivel de paraquat circulante es rápido, y luego la disminución de la concentración en sangre es más lenta. La vida media inicial de paraquat es corta ($t_{1/2} \ll 1h$), pero luego la eliminación se enlentece considerablemente ($t_{1/2} = 50 h$). La concentración en pulmón

“Paraquat”

puede ser hasta un orden mayor que en sangre. Independiente de la vía de ingreso, pulmón y riñón son los órganos donde se alcanzan los niveles más altos de paraquat. En humanos, ~6 h post-ingesta de una dosis oral de 35 mg/kg se alcanza la concentración pulmonar que se asocia a un pronóstico maligno (muerte) (Dinis de Oliveira y col., 2008).

Luego de las primeras horas del episodio de ingesta oral, una proporción de paraquat queda almacenada en musculatura esquelética y retorna a sangre lentamente, por lo cual los músculos pueden actuar “re-inyectando” paraquat a la sangre hasta varios días después del episodio de exposición oral.

Paraquat ingresa a las células por transporte activo, en contra de gradiente de concentración, y parece ser dependiente de la disponibilidad energética (ATP). Algunas interpretaciones proponen la existencia de un transportador saturable que interviene en la translocación hacia el espacio intracelular, y existirían diferencias de relevancia toxicocinética entre tejidos (por ejemplo, más rápido ingreso al pulmón desde la sangre o desde el aire inhalado que al cerebro a través de la Barrera Hematoencefalica (BHE)*. (*) ver más detalles en las secciones siguientes

Los datos bioquímicos y clínicos en humanos sugieren que los tejidos más vulnerables son los mismos que se han identificado en rata, primariamente riñón y pulmón.

El trabajo de Chui y col. (1988) mencionado previamente también permite ver la distribución en tejidos de una dosis aguda claramente subtóxica. En el caso de la exposición por aplicación nasal de una dosis baja en forma de aerosol, casi toda la carga tóxica se recupera en el pulmón dentro del rango de tiempo 0-47 h.

Luego de administración dermal, la carga de paraquat permaneció casi exclusivamente en la piel (24,4-8,2% de la dosis total 1-3 días post-aplicación dermal, respectivamente), con otros tejidos/órganos representando <0,5% de la dosis total administrada, ya sea al inicio o al final del periodo de exposición considerado.

Por último, un aspecto potencialmente relevante de la tabla anterior es que mientras en general los tejidos van reduciendo la concentración medida de paraquat en forma continua entre 0 y 47 h post-administración inhalatoria (aerosol), en el cerebro y músculos 4-9 h después se observó la misma o mayor concentración que inmediatamente después de la absorción sistémica inicial. Nuevamente, si este hallazgo se confirmara con otros estudios, implicaría que las dosis repetidas que sean individualmente subtóxicas pueden generar concentraciones en tejidos susceptibles

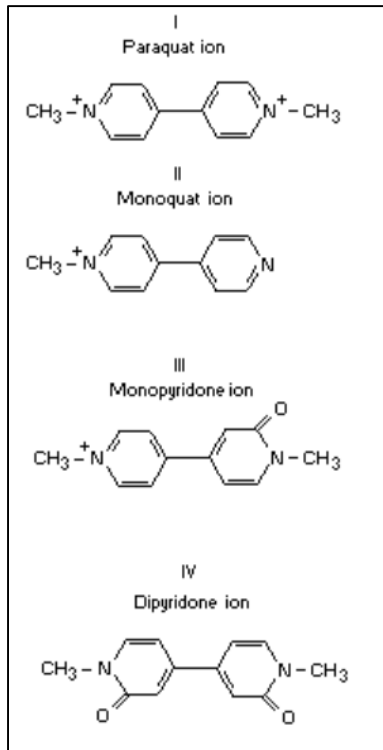
“Paraquat”

mayores a lo esperable evaluando dosis únicas (ver más adelante discusión sobre la relación con la propuesta de una asociación etiológica con neurodegeneración de tipo Parkinson).

Metabolismo

Solo una pequeña fracción de una dosis de paraquat que ingrese por vía oral es metabolizada, mientras la gran mayoría se excreta en las heces; las transformaciones químicas detectadas en heces se consideran relacionadas a la actividad de la microbiota intestinal (estudios en rata). De lo que ingresa, la gran mayoría se elimina en orina sin transformarse. Existen evidencias que parecen sugerir que los metabolitos que se eliminan por orina no derivan de biotransformaciones en el hígado sino que representan lo que ingresa desde el lumen intestinal luego de las transformaciones de paraquat que realizan las comunidades microbianas.

En un estudio de administración oral única de paraquat en vaca, solo el 0,003-0,004% de la dosis total se recuperó en la leche, representando los metabolitos III y IV que se muestran abajo. En orina se han detectado niveles bajos (<5%) pero medibles de paraquat sin modificar (I) y los metabolitos II-III, y los metabolitos solo representaron un % menor del paraquat total excretado.



“Paraquat”

Los mismos metabolitos se presentan en el caso de otras especies de mamíferos (WHO/JMPR, 1976).

Eliminación

Si bien la proporción de una dosis ingerida que se absorbe por vía oral es menor, y de lo que se absorbe la mayoría se elimina rápidamente sin biotransformación metabólica por orina (dosis cuasi-total excretada por vía renal en 24-48 h en rata y perro), la tolerancia renal a niveles circulantes de paraquat en sangre es relativamente baja (dosis orales claramente nefrotóxicos ≥ 20 mg/kg en rata). Luego de administración intravascular en rata, se verifica una cinética bifásica de eliminación: al principio paraquat se elimina rápidamente ($t_{1/2} < 1$ h), seguido por un periodo de $t_{1/2}$ de algo más de 2 días. El efecto nefrotóxico de paraquat se concentra principalmente en la fisiología de los túbulos renales, donde dosis tóxicas rápidamente (pocas horas post-ingesta) reducen la capacidad de *clearance* urinario de paraquat 10-20 veces a medida que se inician procesos de necrosis en el nefron. Existen mecanismos de transporte (ya caracterizados en animales de laboratorio) en los túbulos proximales que son responsables del rol renal en la reabsorción de paraquat. La captación de paraquat en los túbulos proximales involucra al menos parcialmente difusión pasiva. A medida que pasa el tiempo y se deteriora la función renal, varios mecanismos renales fallan, y lo que se “limpia” de la sangre por minuto es cada vez menos. En consecuencia, el $t_{1/2}$ para eliminación en orina pasa de pocas horas a ≥ 120 h (rata). Esta cinética de eliminación parece seguir la misma dinámica bifásica en otras especies (cobayo, mono), y es cualitativamente equivalente en humanos. Sin embargo, en humanos la reabsorción en túbulos es relativamente baja, y se estima que el *clearance* de paraquat se mantiene en niveles fisiológicos mientras la dosis aguda no genere sintomatología clínica. Lo que se excreta por vía fecal es principalmente la proporción mayor de paraquat que no llega a absorberse.

En resumen, el riñón es la única vía de eliminación de una dosis interna absorbida, las estrategias terapéuticas tienen una ventana de tiempo relativamente corta (minutos, máximo pocas horas), las personas intoxicadas suelen recurrir a una sala de emergencia hasta muchas horas después del episodio de intoxicación, y en personas que presenten previamente distintos grados de susceptibilidad renal este órgano no es suficientemente eficiente para eliminar paraquat de la sangre antes que ocurran daños en órganos vitales. Aquí es pertinente recordar que según PAHO las disfunciones y enfermedades renales clínicas y subclínicas pueden representar hasta $\geq 10\%$

“Paraquat”

de la población adulta, y 7.500 personas entran en diálisis cada año, y fallecen en el mismo período 20.000 diagnosticados con ERC (enfermedad renal crónica) (PAHO 2017). O sea, si bien se estima que la dosis que causa toxicidad oral aguda grave podría ser ≥ 20 mg/kg, para gran parte de la población general esa dosis umbral puede ser mucho menor.

En resumen, si bien paraquat no se absorbe eficazmente a través de la mucosa intestinal, múltiples factores biológicos (especie), fisiológicos (integridad microestructural y funcional de las mucosas) y experimentales (formulación, dosis, presencia simultánea de comida) podrían influenciar mucho que proporción ingresa a circulación sanguínea dentro de las primeras 6 h post-ingreso al tracto gastrointestinal. Ya sea que la absorción sistémica sea de menor o mayor relevancia toxicológica, existe rápida toxicocinética de absorción y distribución a tejidos, lo cual implica que existe poco tiempo para practicar acciones terapéuticas en la sala de emergencias en casos de intoxicaciones graves.

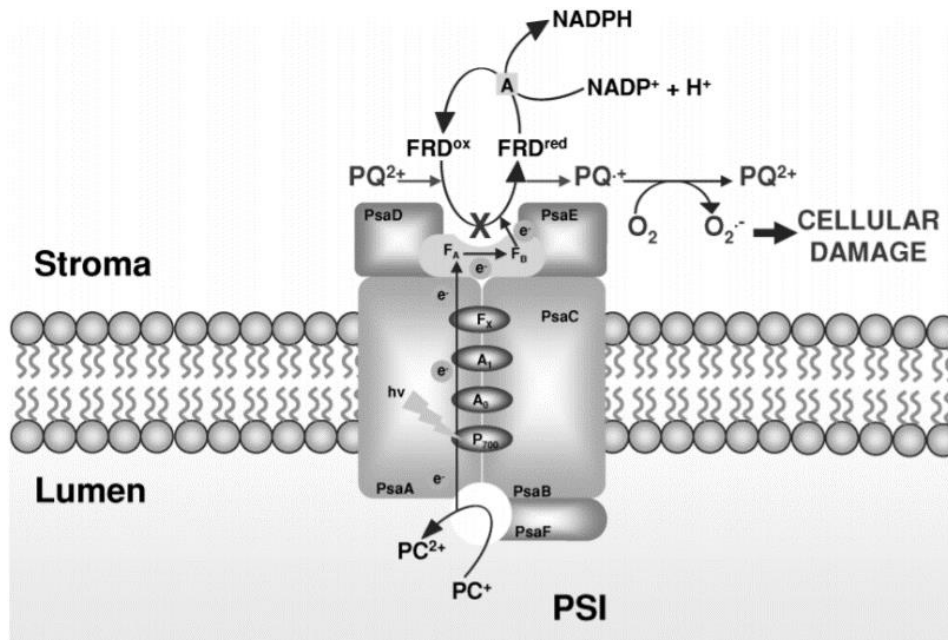
Modo de Acción en Plantas – Mecanismo de Toxicidad Propuesto (mamíferos)

La actividad herbicida de paraquat es principalmente asociada a sus propiedades eléctricas y su potencialidad como molécula perturbadora de equilibrios redox. Varios herbicidas pertenecientes a la familia de los biperidilos (también diquat) tienen rápida acción biocida para las partes verdes de las plantas, pero su alta letalidad en malezas depende de la presencia de un sistema fotosintético activo, la llegada de luz solar y una atmósfera aeróbica (con O_2).

En cada aplicación, la penetración a través de la cutícula foliar ocurre casi inmediatamente, y la absorción de las células se ve facilitada cuando existe alta irradiación solar y humedad, o por la co-aplicación de sustancias no iónicas adyuvantes que contribuyen a la eficacia de la aspersión y la humectación de las partes verdes de las plantas blancos. Una vez dentro de las células vegetales, la presencia de paraquat en el estroma del cloroplasto guía a una declinación de las capacidades para reducir $NADP^+$ (estado oxidado), por lo cual se reducen las capacidades de la fotosíntesis para mantener niveles fisiológicos del estado reducido ($NADPH$). Paraquat es reducido por la enzima $NADPH$ -[CIT-P-450] reductasa; también por la enzima mitocondrial $NADH$ -ubiquinona-CIT-C-oxidoreductasa, que cataliza la formación del monocation (radical libre) PQ^{1+} . En otras palabras, PQ^{\cdot} es cíclicamente producido a expensas de la disponibilidad de $NADPH$. En cada ciclo, PQ^{\cdot} es rápidamente reoxidado para formar PQ^{2+} gracias a la presencia de O_2 en los cloroplastos, y cada vez que esto ocurre se forma un especie radicalaria de oxígeno

“Paraquat”

altamente reactiva (superóxido, $O_2^{\cdot-}$) en cual es muy estresante para el tejido foliar, causando muerte celular. Este ciclo [$PQ^{2+} \rightarrow PQ^{\cdot-} \rightarrow PQ^{2+} + O_2^{\cdot-}$] continua hasta que la oferta de electrones libres que retroalimentan las reacciones cesa. Este mecanismo permite apreciar porque aun niveles bajos de PQ son suficientes para causar tanto daño en el tejido expuesto. Esta cascadas de reacciones enzimáticas de transferencia de electrones y activación de especies reactivas está bien caracterizada en los sistemas mitocondriales y los cloroplastos que intervienen fisiológicamente en respiración celular y fotosíntesis, respectivamente. Por lo tanto, la robustez de la evidencia de este modo de acción es avanzada, y la propuesta del rol promotor de PQ sobre la acumulación de RLs se encuentra bien respaldada por más de 3 décadas de datos de numerosos laboratorios de investigación.



PSI = fotosistema I

PC = plastocianina

Lumen y Stroma = luz y estroma de los cloroplastos donde se entra el sistema denominado Fotosistema I. Esto solo se da en las partes verdes de la planta donde ocurre la fotosíntesis, y es dependiente de la luz natural y O_2 .

La actividad electrónica y capacidad de daño a través de promoción de la formación de especies radicalarias y estrés oxidativo se presenta en forma equivalente en las células animales,

“Paraquat”

incluyendo mamíferos. La generación de radicales altamente reactivos es el fundamento químico principal de los efectos tóxicos del paraquat en animales de laboratorio y humanos.

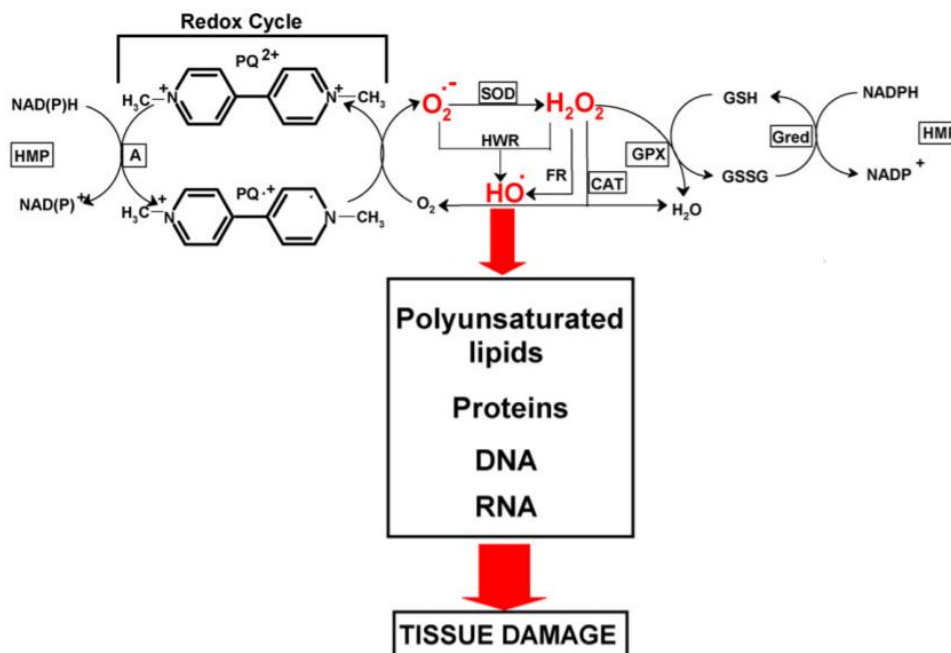


Fig. 2. Schematic representation of the mechanism of paraquat toxicity. A, cellular diaphorases; SOD, superoxide dismutase; CAT, catalase; GPX, glutathione peroxidase; Gred, glutathione reductase; PQ²⁺, paraquat; PQ^{•+}, paraquat cation radical; HMP, hexose monophosphate pathway; FR, Fenton reaction; HWR, Haber-Weiss reaction.

Toxicodinamia - Mecanismo de Toxicidad

Varios estudios han caracterizado hace varias décadas la transformación que sufre paraquat en el hígado. Se usaron sistemas in vitro y estudios de fracciones subcelulares luego de tratamiento in vivo, y en general los hallazgos con concurrentes. Se propone que paraquat sufre ciclos de reducción seguida de re-oxidación, y que estos cambios de reactividad química son el fundamento químico principal de su acción tóxica a nivel subcelular y su alta citotoxicidad. Los efectos moleculares a nivel de la membrana mitocondrial y el sistema de respiración celular promueven alteraciones en la utilización de O₂, perturbación de la cadena respiratoria (afectando el transporte de electrones en las crestas mitocondriales), formación de múltiples especies químicas que se comportan como radicales libres, alteraciones en el metabolismo energético, peroxidación lipídica y otras alteraciones sub-celulares que resultan en trastornos graves de la viabilidad celular (Bus y col., 1976; Dinis-Oliveira y col, 2008; Tsai, 2013). Sin embargo, se considera que paraquat no afecta la tasa de respiración celular basal, probablemente por su

80

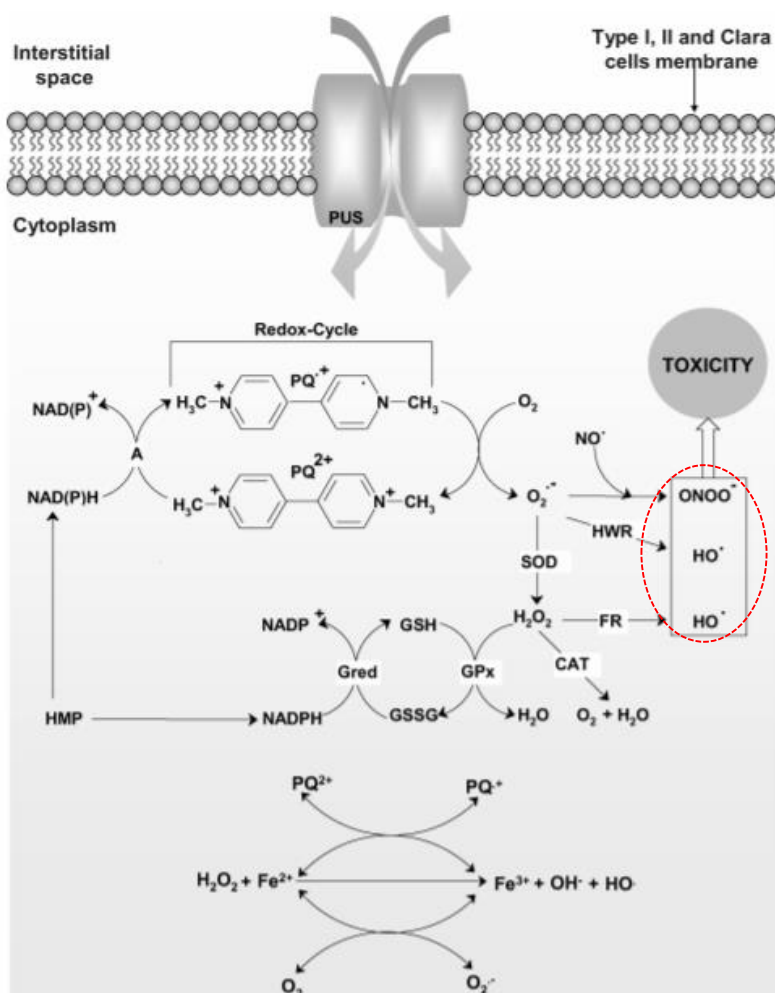
“Paraquat”

tamaño y carga eléctrica que le impide atravesar fácilmente la membrana mitocondrial (ver Gage, 1968a). Los ácidos grasos insaturados y los fosfolípidos en general no se ven especialmente afectados, ni inmediatamente ni aun hasta 6 días luego de una exposición aguda toxicológicamente activa.

Paraquat actúa primariamente interfiriendo la respiración celular, y formando cantidades crecientes de especies químicas altamente reactivas y con gran poder oxidativo. De cada dosis administrada (o nivel ambiental), el % que ingresa a los tejidos y llega hasta los compartimentos subcelulares donde se realiza la respiración es un nivel muy bajo. Sin embargo, una vez dentro de la célula cada molécula de paraquat es capaz de generar numerosos radicales con gran poder citotóxico. Si bien hay tejidos que pueden presentar signos de daño más rápido, en esencia el mecanismo de toxicidad primario de paraquat afecta a la respiración celular, y por lo tanto todo tipo celular es susceptible. Extraído de Dinis de Oliveira y col., 2008.

El punto subcelular más sensible es el Complejo Mitocondrial I (CM-I), localizado en la membrana mitocondrial interna, en contacto con la matriz mitocondrial. De todos los sistemas mitocondriales de transporte de electrones y generación de energía asociados a la respiración celular el CM-I se ubica estratégicamente en la zona inicial del flujo de electrones de la cadena respiratoria. CM-I oxida NADH a NAD⁺ y transfiere electrones a ubiquinona. Además, CM-I permite la translocación de protones desde la matriz mitocondrial al espacio entre las membranas mitocondriales externa e interna, manteniendo así el gradiente electroquímico dentro de los rangos fisiológicos requeridos para producir moléculas de ATP. La mayoría de los estudios publicados muestran evidencia que indica que paraquat tiene como sitio blanco primario de acción la integridad funcional del CM-I mitocondrial, y esta perturbación explicaría la gran mayoría de los eventos de citotoxicidad que se han descrito *in vitro* e *in vivo* en estudios en animales de laboratorio.

“Paraquat”



Esquema que muestra el mecanismo de toxicidad de paraquat en rata.

A, Sistema de diaforasas, catalizadoras de transferencia de electrones;

SOD, superóxido dismutasa;

CAT, catalasa;

GPx, glutatión-peroxidasa;

Gred, glutatión-reductasa; PQ²⁺,

paraquat;

PQ^{•+}, especie radicalaria de paraquat monocation;

HMP, camino de las hexosas monofosfato;

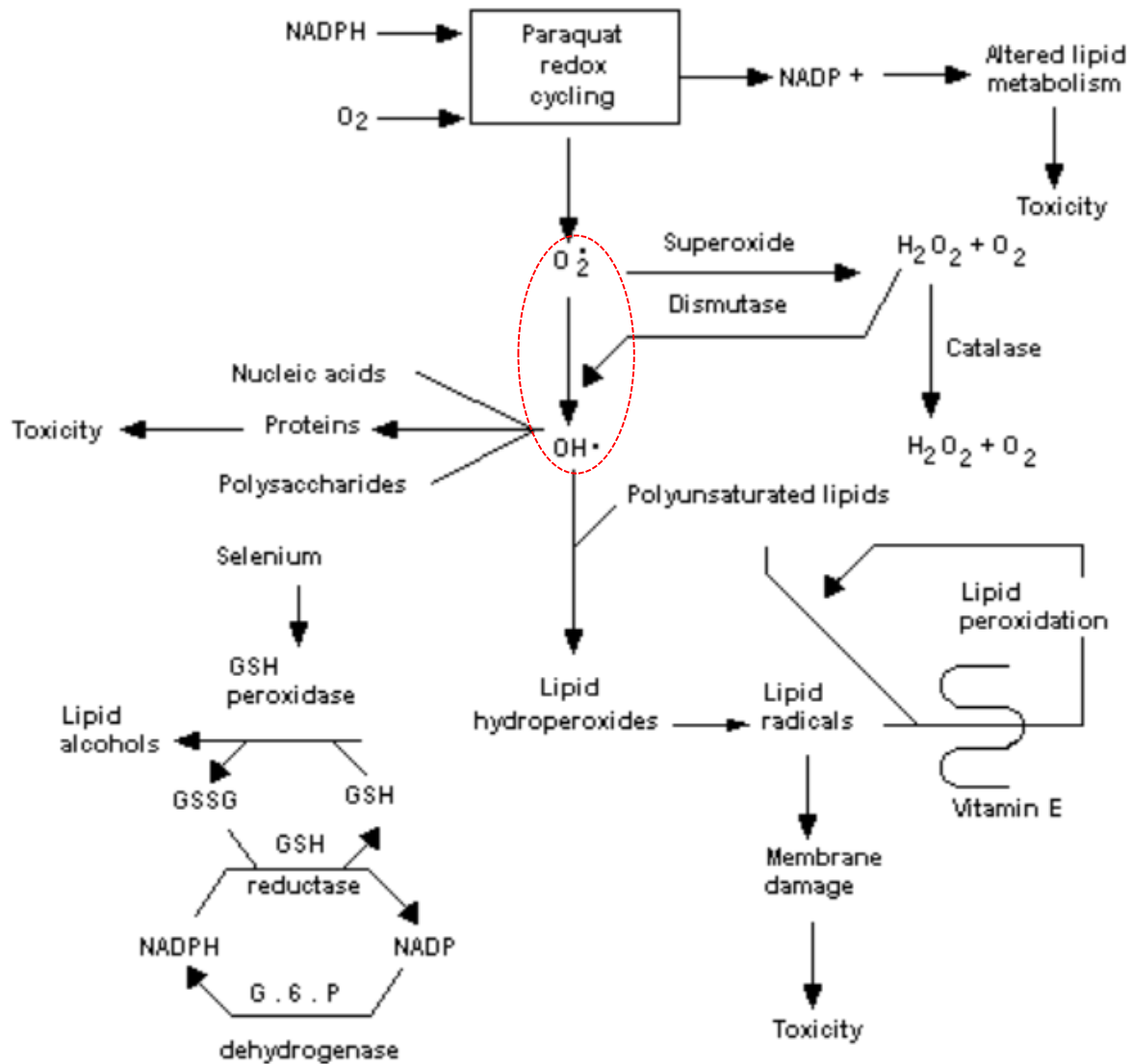
FR, Reacción Fenton;

HWR, Reacción Haber-Weiss,

PUS; Sistema de captación de poliaminas

En rojo se marcan las especies de radicales libres (RL) que, acumuladas en el interior celular, causan cascadas de descomposición de biomoléculas vitales para la supervivencia celular, inicialmente y principalmente los lípidos simples y complejos de las membranas celulares y sub-celulares (mitochondria). Los RLs formados por la presencia de paraquat también afectan la estructura química y conformación espacial de proteínas, ácidos nucleicos y carbohidratos. A continuación se muestra un esquema más detallado de las reacciones químicas que directa o indirectamente perturba paraquat dentro de las células (en todos los tipos celulares, si bien algunas células pueden ser más o menos sensibles, y la captación y retención en los tejidos presenta diferencias), marcando la vulnerabilidad particular de los sistemas de membranas fosfolipídicas y la integridad de lípidos en general.

“Paraquat”



La formación acelerada de varias especies de oxígeno altamente reactivas en la matriz mitocondrial tendría como primer impacto sub-celular adverso la peroxidación de los lípidos de la membrana mitocondrial interna. La pérdida de integridad estructural mitocondrial es rápidamente seguido por citotoxicidad generalizada y muerte celular.

La mayor vulnerabilidad del pulmón es multifactorial, siendo 2 factores principales la alta vascularización del tracto respiratorio inferior (lo que resulta en mayor dosis acumulativa de paraquat que llega a cada alveolo) y un ambiente rico en O₂ que exagera la capacidad de

“Paraquat”

xenobióticos que tengan potencialidad intrínseca para perturbar equilibrios redox y promover la formación de especies oxidantes y RLs. Un tercer factor de susceptibilidad es que en caso de exposición inhalatoria, en pulmón existen sistemas de transporte de poliaminas endógenas (como la putrescina) que pueden ser utilizados por paraquat para ingresar en los neumocitos alveolares.

Toxicodinamia – Efectos Tóxicos

Existe consenso para calificar a paraquat como un plaguicida que causa riesgo de muerte debido a su alta capacidad de daño en órganos vitales como el tracto gastrointestinal, los riñones, el pulmón y otras regiones del cuerpo. La estimación de DL50 luego de ingreso por vía oral ha sido reportada desde 3-5 a 40 mg/kg en humanos. En algunos casos, su alta letalidad implica que aun un sorbo de 10-15 mL de una solución concentrada de paraquat de 20% p/p puede ser suficiente para causar toxicidad aguda grave o la muerte. En la Tabla 9 que sigue se muestra una serie de estudios que muestran el rango de dosis letales que se ha reportado para este herbicida en ratón, rata, conejo, cobayo, perro y mono.

Tabla 9. Letalidad de paraquat en mamíferos: LD50 = dosis letal 50 estimada en una amplia diversidad de estudios en animales de laboratorio realizados a lo largo de 30 años. Considerando la vía de ingreso más extrapolable a humanos (vía oral) y los límites de los intervalos de confianza estimados a partir de los estudios en ratas, DL50 = 57-173 mg/kg. Se asigna a paraquat la Categoría 3 en el sistema GHS de clasificación de peligrosidad (WHO, 2019). NS = no especificado.

per os = administrado por vía oral. i.p. = inyección intraperitoneal. i.v. = inyección intra-vascular. s.c.=inyección subcutánea.

“Paraquat”

Species	Strain	Sex	Route	LD ₅₀ (mg/kg b.w.) (95% confidence interval)	Reference
Mouse	NS	NS	per os	120	(Orme and Kegley)
			i.p.	30	
			i.v.	180	
Rat	Swiss-Webster	M	i.p.	39 (32.5–46.8)	(Sinow and Wei, 1973)
	Swiss-Webster	F	i.p.	30 (26.3–34.2)	(Bus et al., 1976)
	NS	F	i.p.	19 (16–21) ^a	(Clark et al., 1966)
	NS	F	i.p.	16 (10–26)	(Mehani, 1972)
	NS	NS	i.v.	21	(Orme and Kegley)
	NS	F	per os	112(104–122) ^a	(Clark et al., 1966)
	NS	F	per os	150 (139–162) ^a	(Clark et al., 1966)
	Sherman	M	per os	100 ^b	(Kimbrough and Gaines, 1970)
	Sherman	F	per os	110 ^b	(Kimbrough and Gaines, 1970)
	NS	F	per os	150 (110–173)	(Mehani, 1972)
	Sprague-Dawley	M	per os	126	(Murray and Gibson, 1972)
	NS	NS	per os	57	(Orme and Kegley)
	Sherman	M	dermal	80 ^b	(Kimbrough and Gaines, 1970)
Sherman	F	dermal	90 ^b	(Kimbrough and Gaines, 1970)	
Rabbit	NS	M	per os	50 (45–58)	(Mehani, 1972)
	NS	M	i.p.	25 (15–30)	(Mehani, 1972)
	NS		dermal	236	(Clark et al., 1966)
Cats	NS	F	per os	35 (27–46) ^a	(Clark et al., 1966)
Dog	Beagles	M	s.c.	1.8(1.0–6.1)	(Nagata et al., 1992)
		F	s.c.	3.5 (2.4–10.1)	(Nagata et al., 1992)
Monkeys	NS	NS	oral	25	(Orme and Kegley)
	Cynomolgus (<i>Macaca fascicularis</i>)	M and F	per os	50	(Murray and Gibson, 1972)
Guinea pigs	NS	M	per os	70 ^a	(Purser and Rose, 1979)
	Sprague-Dawley	M and F	per os	30 (22–41) ^a	(Clark et al., 1966)
	NS	F	i.p.	22	(Murray and Gibson, 1972)
			i.p.	3 ^a	(Clark et al., 1966)

Extraído de De Oliveira y col., 2008

Los efectos más graves y (dependiendo de la dosis y la susceptibilidad) la muerte pueden ocurrir dentro del primer día o unos pocos días post-ingesta. También existen revisiones de intoxicaciones agudas que estiman que dosis en bolo menores a 20 mg/kg suelen ser subletales y con recuperación completa (Geller, 2017). En estos casos, para una solución de paraquat 20% p/v (20 g/100 mL), 2-4 g (10-20 mL) puede ser suficiente para causar la muerte en adultos. Los niños son más sensibles, dado que un sorbo de 4-5 mL puede ser letal.

Metabolitos

Existen unos pocos estudios toxicológicos de metabolitos de paraquat (como se dijo, estos derivarían principalmente del metabolismo de la microbiota intestinal) (WHO/FAO, 1971). De los

“Paraquat”

metabolitos que pueden formarse a partir de biperidilos del tipo paraquat, existen estudios de toxicidad aguda del *metilsulfato del ácido N-metil-isonicotínico* (MS-AMIN). En rata, dosis extremadamente altas (2 g MS-AMIN/kg/día) administradas por vía oral (intubación intra-esofágica) durante 21 días seguidos causaron salivación, piloerección y ocasionalmente flacidez.

Cuando en otro estudio de exposición crónica en ratas se administró MS-AMIN por vía oral (dieta) durante 90 días, en niveles entre 0,5 y 4 g/100 g comida (muy por encima de exposiciones alimentarias realistas), solo la dosis más alta causó disminución de la ganancia de peso. Dentro de los tejidos blancos primarios para dicha dosis de 4 g/kg de MS-AMIN se puede mencionar al testículo, donde se encontraron procesos degenerativos de los túbulos y el epidídimo. Para el resto de dosis (≤ 2 g/kg) no se observaron ni cambios en el peso ni a nivel de la mortalidad. Otros estudios mostraron tendencias similares a nivel de toxicidad sistémica y mortalidad.

Neumotoxicidad: El pulmón es el tejido más vulnerable para la vía de ingreso inhalatoria, y uno de los órganos blancos primarios principales para las intoxicaciones por cualquier vía de ingreso. Se han observado danos histopatológicos y funcionales en pulmón en todos los modelos animales experimentales evaluados (ratón, rata, conejo, perro). Las anomalías pulmonares incluyen aumento del peso pulmonary, coherente con otros cambios de rápida progresión que se observan luego de exposición a dosis altas: necrosis celular, hipertrofia/fibrosis, edema, infiltración de macrófagos y leucocitos mononucleares y presencia de exudado. Los perros son más sensibles a la neumotoxicidad que la rata y el ratón. En un estudio de exposición crónica en perro, se estimó un NOAEL = 0,45 mg paraquat ion/kg peso corporal por día, en base a las observaciones de disfunción respiratoria y cambios histopatológicos. Otro estudio de exposición continua subcrónica (13 semanas) similarmente estimo un NOAEL = 0,55 mg paraquat ion/kg peso por día (FAO, 2003).

Como fue ya mencionado, el mecanismo primario de toxicidad es la generación de RLs lo cual resulta en peroxidación lipídica, citotoxicidad y daño pulmonar estructural y funcional. La alta concentración de O_2 en los alveolos favorece un ambiente pro-oxidativo más susceptible a la producción acelerada de RLs, lo que representa uno de los fundamentos bioquímicos principales de la mayor vulnerabilidad del pulmón en relación a otros tejidos pocos minutos después de la ingesta oral de paraquat. Edema agudo y daño pueden manifestarse dentro de las primeras pocas horas del episodio de exposición. Hemorragia y extravasación de fluidos de las zonas edematosas hacia el tracto respiratorio inferior genera una declinación progresiva de la capacidad

“Paraquat”

de oxigenación, asfixia y anoxia tisular generalizada que resulta en la muerte. La absorción de paraquat por vía oral también causa daño renal (túbulos proximales de los nefrones) lo cual dificulta o impide la excreción urinaria del paraquat que circula por la sangre.

Toxicidad Ocular: En un estudio de exposición crónica de ~2 años en rata, la evaluación oftalmoscópica durante el periodo de exposición y el análisis histopatológico de necropsias de los ojos muestra opacidad de córnea y cataratas en los animales que fueron administrados dosis de dicloruro de paraquat de 3,75 y 7,5 mg/kg/día. Otros efectos incluyeron degeneración lenticular, fibrosis capsular y/o fragilidad/ruptura de la lente, degeneración periférica de la retina, y humor vítreo enriquecido en proteínas. Aun en la dosis más baja (pocos mg/kg peso) se detectaron varias anomalías relacionadas a degeneración estructural y funcional de la visión, si bien la dosis umbral para toxicidad ocular parece depender de la cepa de rata evaluada y las condiciones experimentales (FAO, 2003).

Nefrotoxicidad: Paraquat causa daño renal, focalizados primariamente al sistema de túbulos proximales, en los cuales ocurre degeneración hidrópica (alteración de la homeostasis de agua y iones), eosinofilia y dilatación tubular luego de exposición dietaria crónica a 15 mg paraquat ion/kg/día en ratón. Además, alteraciones leves fueron perceptibles en ratones machos administrados una dosis de 5,6 mg paraquat ion/kg/día; NOAEL se estimó en forma concluyente en 1,9 mg/kg/día (FAO, 2003).

Cardiotoxicidad: Otro daño que causa paraquat es la necrosis de las fibras musculares. El miocardio es particularmente vulnerable. Sin embargo, los hallazgos de cardiotoxicidad severa en ratas adultas jóvenes podrían estar sólo asociados a los efectos de dosis altas (cerca del umbral de letalidad) administradas en bolo por vía parenteral que causan toxicidad sistémica aguda (Lin y col., 2020). La musculatura esquelética puede actuar como acumuladora y fuente endógena de paraquat, según sugieren algunos estudios en animales.

Hepatotoxicidad: La evaluación bioquímica de lípidos pulmonares muestra que paraquat no afecta particularmente el contenido de ácidos grasos insaturados. Del mismo modo, muestras de hígado de rata evaluadas *in vitro* o extraídas de animales administrados *in vivo*, no respaldan efectos directos en la regulación de la biosíntesis de ácidos grasos. Sin embargo, dosis altas de acetate de tocoferol administradas a los animales antes de tratarlos con paraquat provee protección parcial a los efectos tóxicos de paraquat. Diversos efectos se han reportado principalmente en sistemas *in vitro* y cultivos primarios de hepatocitos. A nivel global, se ha

“Paraquat”

encontrado que los niveles en sangre que se pueden encontrar en personas que sufrieron casos de intoxicación aguda grave serían suficientes para afectar la integridad celular y las capacidades de metabolismo basal y detoxificante del hígado (Masanet y col., 1988). No se encontraron estudios que usen administración oral en rata o ratón, e informen potenciales efectos hepatotóxicos luego de exposición subcrónica o crónica a dosis individualmente sub-neumotóxicas (o sea, claramente menores a los niveles cuasi-letales).

Genotoxicidad - Clastogenicidad: Existe suficiente cantidad de estudios sobre la genotoxicidad de paraquat proveniente de múltiples estudios *in vivo* y ensayos *in vitro*. En general, los resultados fueron positivos; paraquat causó daño al ADN, mutagenicidad y clastogenicidad (daño a la integridad cromosómica). La mayoría de las interpretaciones mecanísticas responsabilizan al aumento de RLs causado por paraquat la susceptibilidad de la cromatina. En consecuencia, se asume que dosis de paraquat que no generen niveles supra-umbrales de RLs no serán efectivas para causar genotoxicidad *in vivo*. Teniendo en cuenta la baja absorción de paraquat por vía oral, sólo dosis altas que generen toxicidad sistémica excesiva harían falta para acumular suficiente cantidad de RLs y que estas especies reactivas superen el umbral intracelular para ingresar al núcleo celular y causar daño cromosómico. En el caso de exposición directa de los neumocitos alveolares por vía inhalatoria, la dosis umbral para genotoxicidad pulmonar podría ser teóricamente menor. En general, los organismos internacionales han concluido que los usos autorizados y procedimientos recomendados no causan un riesgo inaceptable de genotoxicidad en humanos. Sin embargo, la ausencia de monitoreos de genotoxicidad en poblaciones expuestas a este y otros ingredientes activos (y coformulados) de productos agroquímicos impide determinar en Argentina cual es el background de daño genético. Por lo tanto, al presente es imposible verificar que dicha conclusión de los organismos internacionales (ausencia de genotoxicidad) es aplicable a escenarios realistas de exposición repetida en humanos, especialmente en personas expuestas frecuentemente y con limitada protección, como en el caso de trabajadores agrícolas de Argentina, donde se ha comprobado uso nulo, incompleto o inadecuado de equipos de protección personal, EPP (SADS, 2007); es necesario remarcar que este problema no es particular de Argentina o unos pocos países, aún se observa cumplimiento subóptimo del manejo seguro de productos plaguicidas por los trabajadores agrícolas en países de alta vigilancia epidemiológica, por ejemplo Canadá (Health Canada, 2018).

Carcinogenicidad: En un estudio de exposición crónica (2 años) en ratas hembras se observó aumento de la frecuencia de adenoma pulmonar al administrar 8,5 mg dicloruro de paraquat

“Paraquat”

/kg/día. NOAEL fue ~3 mg/kg/día. En ratas machos, el mismo adenocarcinoma se observó en 1, 2 o 3 animales de un total de 80 tratados con dosis de 1,3, 3,5 y 10,6 mg/Kg/día (1,25% a 3,75% de la muestra), respectivamente. El NOAEL fue en machos 0,8 mg/kg/día, en base a los hallazgos histopatológicos en pulmón. En otros estudios de exposición crónica en ratas con un diseño experimental comparable no se encontraron diferencias en la frecuencia de neoplasmas pulmonares entre el grupo tratado y el control. Además, no se encontró tumorigenicidad en varios estudios realizados en ratón. La evaluación global por especialistas convocados por WHO de los estudios disponibles de carcinogenicidad pulmonar concluye que la evidencia es insuficiente para asignar una relación etiológica entre la exposición a dicloruro de paraquat y la mayor incidencia de neoplasmas en pulmón. Por otra parte, el esquema de administración continúa del herbicida puro a lo largo de gran parte de la vida de la rata simularía una situación de exposición aparentemente improbable en escenarios de exposición humana, si bien los monitoreos de exposición humana a paraquat en zonas vulnerables de nuestro país que permitirían asignar prioridad a la incertidumbre en los hallazgos antedichos o no existen, o no se encuentran disponibles. Otro punto importante a considerar aquí es que la exposición a paraquat no ocurre en forma excluyente en zonas agrícolas y suburbanas; los paquetes tecnológicos de la producción agroalimentaria incluyen otros plaguicidas, incluyendo algunos con clasificación por su posible carcinogenicidad en humanos. En este contexto, tampoco existen en el país estudios de co-ocurrencia ambiental de residuos de plaguicidas carcinógenos en aire, agua y los alimentos que consumen las poblaciones rurales-agrícolas más próximas a los puntos de aplicación de paraquat.

Por último, existe evidencia emergente proponiendo una relación entre la exposición ocupacional a paraquat y ciertas lesiones de piel predisponentes a cáncer. Esto se describió en el ámbito de la síntesis química de paraquat en Taiwan, y por eso los hallazgos en piel podrían estar asociados a los compuestos biperidilos que se manipulan y pueden contaminar el ambiente laboral (Tsai, 2013). A continuación se presenta una tabla con los niveles guía de seguridad para el dicloruro de paraquat en el ámbito ocupacional según las autoridades regulatorias de distintos países.

“Paraquat”

Compound	USA				Germany	Taiwan
	TLV ^a	PEL ^b	REL ^c	IDLH ^d	MAK ^e	PCS ^f
Paraquat (salt) ^g	0.1 mg m ⁻³ (respirable) 0.5 mg m ⁻³	0.5 mg m ⁻³ (respirable) ^g	0.1 mg m ⁻³ (respirable) ^g	1 mg m ⁻³	0.1 mg m ⁻³	0.1 mg m ⁻³

^aThreshold limit value (ACGIH 2009). The critical effect of paraquat is lung damage on a TLV basis.
^bPermissible exposure limit (OSHA 2012).
^cRecommended exposure limit (NIOSH 2012b).
^dImmediately Dangerous to Life or Health (NIOSH 2012a).
^eMaximum allowable concentration (DFG 2002; Lewis 2004).
^fPermissible Concentration Standard (Council of Labor Affairs, Taiwan).
^gListed as one of respirable dusts and skin-sensitive chemicals.

Toxicidad Reproductiva - Toxicidad durante el Desarrollo Temprano

Existen unos pocos estudios de efectos de la exposición a dicloruro paraquat en la reproducción en rata. El NOAEL para toxicidad parental se reporta 1.67 mg/kg/día. El NOAEL para toxicidad durante la infancia temprana fue 5 mg/kg/día. En dosis claramente alejadas de los umbrales para letalidad parental no se observaron trastornos de la fertilidad.

En cuanto a estudios en animales en desarrollo, existen varios trabajos en rata y en ratón. El NOAEL más bajo reportado para toxicidad maternal y en las crías fue 1 mg/kg/día en base a los efectos clínicos, incluyendo menor ganancia de peso corporal materno, menor peso promedio fetal, y retraso de la osificación fetal. El ratón pareció mostrar un poco más tolerancia a la acción perinatal de paraquat, con NOAELs algo mayores para los efectos maternos y fetales durante el desarrollo.

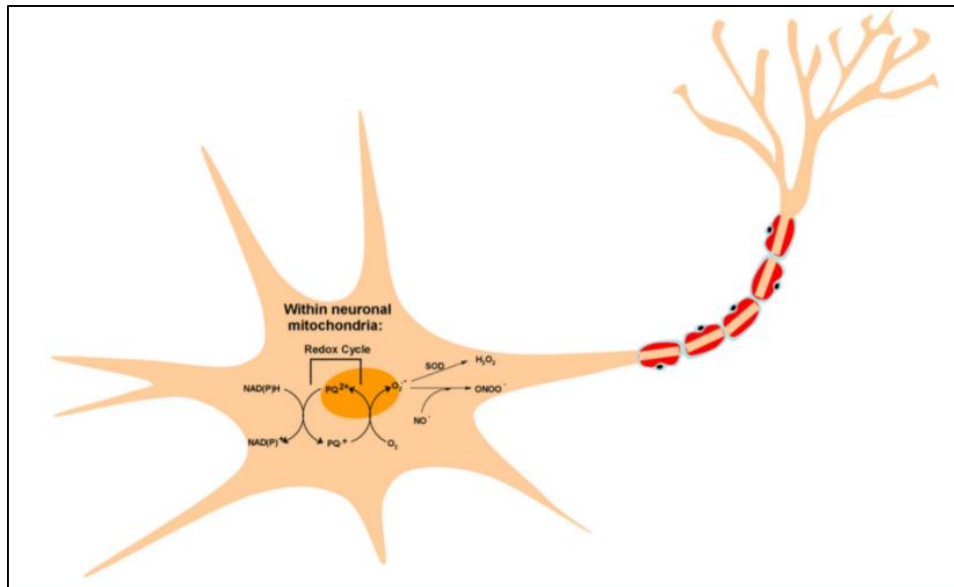
En un estudio se observó en ratas que al administrar a la madre una dosis única de 6,5 mg/kg en el día G6 de la gestación se generaba una incidencia considerable de malformaciones de cartílago durante el desarrollo embrio-fetal. Este hallazgo no se observó cuando el mismo tratamiento se administraba en la semana siguiente de la gestación (G7-G14). Al administrar dosis más altas (por ejemplo, 13 mg/kg) el efecto teratogénico no se observaba debido a que la dosis era abortiva, reduciendo la cantidad de fetos evaluables al nacimiento.

Teratogenicidad: no se observó bajo ninguna de las condiciones de exposición evaluadas en modelos animales experimentales.

Neurotoxicidad

Propuesta para Explicar la Vulnerabilidad Neuronal a la Exposición a Paraquat

Como en las células de todos los tejidos del cuerpo, las neuronas realizan constantemente respiración celular y reacciones de óxido-reducción en el interior celular para mantener su balance energético y el estado general de homeostasis. Para esto, las neuronas tienen que mantener un nivel de RLs compatible con la fisiología celular óptima de cada región del sistema nervioso. Los mismos mecanismos de perturbación de la cadena respiratoria a nivel mitocondrial que se proponen para paraquat en pulmón, riñón y miocardio serían particularmente dañinos en las neuronas. Abajo se sintetizan gráficamente las reacciones redox que se proponen participarían en la toxicogénesis de paraquat en el tejido nervioso.



Propuesta del mecanismo de toxicidad de paraquat a nivel neuronal. Exacerbación de la generación de varias especies reactivas de oxígeno, tales como ONOO⁻

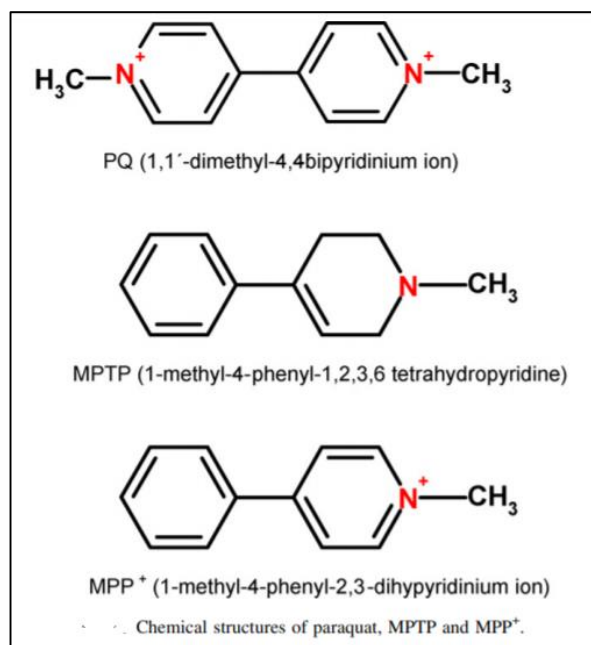
Extraído de Dinis de Oliveira y col., 2008.

En cerebro existen caminos fisiológicos específicos de tipo celular entre la actividad de los complejos de transporte de electrones que participan en la respiración, el metabolismo energético y el mantenimiento de la homeostasis de iones y electrolitos que podrían interpretarse como una mayor vulnerabilidad a la presencia intracelular de paraquat. Por ejemplo, en neuronas, la homeostasis de Ca²⁺ y otros iones a nivel sub-celular está relacionada al funcionamiento del CM-I en las mitocondrias, y por lo tanto perturbaciones de la integridad microestructural del CM-I

“Paraquat”

pueden generar oscilaciones de los niveles de Ca^{2+} y cambios del potencial de membrana mitocondrial que activan caminos de muerte celular (apoptosis y necrosis). Si bien todas estas y otras propuestas mecanísticas permanecen en el estado de hipótesis sólo parcialmente respaldada por evidencia científica, existen estudios indicando que las neuronas dopaminérgicas son vulnerables a los inhibidores del CM-I mitocondrial. Además, existe acuerdo que las neuronas dopaminérgicas son más susceptibles al estrés oxidativo debido a que el metabolismo de dopamina involucra caminos de oxidorreducción que pueden potencialmente generar niveles de especies reactivas perjudiciales para la fisiología celular basal. Por ejemplo, la auto-oxidación de dopamina en ambientes intracelulares pro-oxidativos genera formación de especies reactivas de oxígeno (Dinis de Oliveira y col., 2008).

Paraquat es estructuralmente similar a la neurotoxina *1-methyl-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine* (MPTP) (ver figura abajo), conocida por su potente acción neurotóxica en neuronas dopaminérgicas en modelos animales experimentales. Esta similitud estructural despertó hace más de 30 años el interés científico por definir si la exposición humana a paraquat podía de algún modo emular la misma relación etiológica que se conocía entre MPTP y su acción pro-parkinsoniana (WHO/FAO, 1971). Sin embargo, paraquat posee un nitrógeno cuaternario y por eso es muy poco eficaz para cruzar membranas biológicas, a diferencia de MPTP, precursor del metabolito iónico de metilfenilpiridina (MPP⁺). Además, existen trabajos que sugieren que paraquat no es captado en las neuronas utilizando el transportador de dopamina.



Aquí se muestra una comparación de las estructuras de paraquat (PQ), MPTP y el ion de este último que desde hace mucho tiempo ha sido caracterizado como una neurotoxina que en animales de laboratorio causa efectos adversos a nivel celular, sub-celular y molecular que emulan aspectos fisiopatológicos relevantes de la etiopatogenia de la enfermedad de Parkinson.

“Paraquat”

La susceptibilidad de las neuronas dopaminérgicas de los ganglios basales (responsables de la coordinación motora bajo condiciones fisiológicas, entre otras funciones) a la exposición a la toxina denominada MPTP y paraquat tiene varios aspectos comunes al proceso neurodegenerativo que se propone para la etiopatogenia de EP. Existe literatura avanzada sobre los efectos *in vivo* e *in vitro* de paraquat sobre la neuroquímica y neurofisiología cerebral en animales de laboratorio. Estos estudios han sido propuestos como evidencia de una asociación etiológica entre la exposición a paraquat y los factores que se presentan en la EP idiopática.

Los estudios de neurotoxicidad en rata que usaron vías de administración parenterales (iv, ip e intracerebral) han demostrado que dosis altas de paraquat causan alteraciones morfológicas, neuroquímicas y comportamentales. Sin embargo, no todos los estudios mostraron inequívocamente daño particularmente selectivo en las neuronas dopaminérgicas nigroestriatales. Más allá de ponderar la relación entre los estudios que mostraron y los que no mostraron evidencia de neurotoxicidad asociada a trastornos funcionales en los ganglios basales, la vía de administración utilizada en estos estudios guarda poca relevancia en el contexto de evaluar el riesgo de toxicidad por exposición dietaria, dermal o ambiental-inhalatoria a paraquat en humanos.

Algunos estudios han mostrado que la exposición a dosis altamente tóxicas de paraquat en ratas adultas jóvenes causan aumento de peroxidación lipídica en hígado, pulmón y cerebro, y disminución de dopamina en el núcleo estriado (ver por ej., Tawara y col., 1996). Si bien los efectos se hicieron evidentes en una ventana de tiempo que parece ser coherente con la relación tiempo-efecto para las intoxicaciones orales agudas con paraquat, los niveles de dosis (10-100 mg/kg) y las vías de administración utilizadas (vía ip o iv) impiden hacer una extrapolación directa de esas condiciones controladas de laboratorio a escenarios realistas de exposición humana oral o inhalatoria a dosis peri-umbrales o tóxicas sub-letales. Con las mismas dificultades al momento de la extrapolación animal-humano, existen otros estudios que lamentablemente seleccionaron condiciones de exposición que tienen limitada o nula comparabilidad a las respuestas biológicas o tóxicas que pudieran ocurrir en poblaciones que se expongan ocasionalmente o frecuentemente a dosis que individualmente causen sintomatología leve. Más aun, la ausencia de estudios de exposición repetida a dosis orales sub-neumotóxicas bajo condiciones controladas de laboratorio impide evaluar el rol de la microbiota intestinal en la generación de metabolitos de paraquat que sean más absorbibles y de los cuales desconocemos su perfil toxicológico.

“Paraquat”

El otro problema en los numerosos estudios que se han publicado administrando dosis únicas o repetidas muy altas radica en no poder distinguir entre los efectos directos de paraquat en sistema nervioso central, y los efectos neurobiológicos y neurofisiológicos indirectos que pudieran resultar como consecuencia del estrés sistémico severo o cuasi-letal en órganos vitales fuera del sistema nervioso (por ej., pulmón, riñón, miocardio, hígado, etc.).

En resumen, hay trabajos que muestran aspectos comunes y diferencias entre paraquat y MPTP, por lo cual aún no es posible afirmar en forma conclusiva que luego del ingreso por vía oral o inhalatoria en rata, ratón o humanos paraquat presente el mismo perfil toxicológico que MPTP en lo que respecta a su actividad en el sistema dopaminérgico nigroestriatal.

Si bien los episodios graves de exposición oral aguda (por ej., intentos de suicidio) ubican a los riñones y el pulmón como los órganos que determinan el pronóstico de la intoxicación y las secuelas que quedarán a la persona si sobrevive, en el caso de exposición repetida, las dosis que individualmente son subtóxicas a nivel pulmonar pueden causar estrés crónico y citotoxicidad a nivel del sistema nervioso central. Al presente hay evidencia robusta sobre dicho estrés generalizado en el sistema nervioso para el caso de episodios de intoxicación aguda grave en humanos, y evidencia avanzada sobre la relación entre la susceptibilidad particular de las neuronas de los ganglios basales (en particular el sistema de neurotransmisión dopaminérgica nigro-estriatal) y la ocurrencia de signos clínicos similares a los que presentan los pacientes diagnosticados con enfermedad de Parkinson (EP) en modelos animales experimentales (rata; ratón). Aquí es relevante mencionar el trabajo de O’Leary y col. (2008) en monos adultos hembras. En ese estudio se administró solo una dosis semanal de 2,5 mg/kg por vía subcutánea durante 6 semanas, y 2-4 semanas luego de la última dosis se evaluó la expresión de receptor colinérgicos nicotínicos (nAChRs) en el núcleo estriado (región cerebral estrechamente relacionada a la etiopatogenia de EP). A diferencia de otros modelos animales experimentales, el mono es una especie evolutivamente y fisiológicamente cercana a los humanos, y la dosis administrada se seleccionó cuidadosamente para que no cause signos de toxicidad aguda (se verificó que sea una dosis sub-neumotóxica). Si bien la vía de administración tiene baja extrapolabilidad a situaciones realistas, muchas de las condiciones de ese estudio son de alto valor de evidencia para analizar riesgo de neurotoxicidad y neurodegeneración dopaminérgica por exposición repetida a dosis de baja efectividad (claramente subletales) en humanos. Bajo esas condiciones de evaluación se encontró alteraciones neuroquímicas leves en magnitud pero sugestivas de cambios funcionales en la acción conjunta de los diversos subtipos de receptores

“Paraquat”

nAChRs y la liberación de dopamina en los ganglios basales en respuesta a estimulación colinérgica. Ese estudio *per se* no es suficiente para una asociación etiológica entre paraquat y EP en humanos, pero dado que el hallazgo principal sugiere un debilitamiento sutil pero neurobiológicamente significativo de la liberación de dopamina en un estudio *in vivo* en mono, muestra una evidencia coherente con esa propuesta.

Otra fuente de incertidumbre en el largo debate sobre la capacidad neurodegenerativa de paraquat en humanos se relaciona a la capacidad de captación en el sistema nervioso central una vez que una dosis oral, dermal o inhalatoria fue suficientemente grande para generar una concentración sanguínea que cause toxicidad sistémica (a nivel intestinal se absorbe sólo un bajo porcentaje de lo que ingresa al tránsito intestinal o lo que contacta la piel). Hay varios reportes de casos de intoxicaciones letales con paraquat donde los estudios de imágenes cerebrales y autopsias muestran edema cerebral, hemorragia encefálica y muerte neuronal. Sin embargo, aún no es conclusiva la evidencia para definir si los cambios antedichos en las autopsias derivan de efectos secundarios inespecíficos, resultan de las consecuencias de la falla en la hematosis pulmonar seguida de anoxia tisular, o son parte del mecanismo de toxicidad específico de paraquat. Se han hecho estudios tomográficos en modelos animales extrapolables a humanos para evaluar el grado de selectividad en la acumulación de paraquat en las regiones cerebrales asociadas a la etiopatogenia de EP. Un punto central es si paraquat logra atravesar la Barrera Hematoencefálica (BHE) luego de cada episodio de exposición oral. Dicloruro de paraquat es una sal, y como el paraquat que circula en sangre se encontrará mayormente cargado eléctricamente se considera *a priori* que es una especie química muy ineficaz para atravesar la bicapa fosfolipídica que rodea a las células. El sistema de transporte activo que facilita el ingreso de poliaminas a las células, que es propuesto como el mecanismo principal de ingreso del paraquat inhalado a las células en el caso del pulmón, no se conoce que tenga una expresión activa en la BHE. Otros mecanismos de ingreso de paraquat al sistema nervioso central han sido propuestos, incluyendo transportadores de aminoácidos de diversa especificidad, pero la evidencia es aún insuficiente para respaldar la relación entre exposición sistémica, concentración plasmática, ingreso al cerebro y efectos neurotóxicos persistentes o neurodegenerativos. Si los transportadores de aminoácidos fueran efectivamente responsables del ingreso de paraquat al encéfalo, se postula que diferencias en la nutrición (aminoácidos, vitaminas y fármacos como L-dopa) podrían influenciar la velocidad de captación en cerebro. También se hipotetiza que la capacidad oxidante de PQT podría *per se* causar una degradación gradual de la integridad de la

“Paraquat”

naturaleza multicelular de la BHE, deteriorando su rol protector del medio interno cerebral. De este modo, los pocos datos disponibles sobre los mecanismos de ingreso de paraquat a regiones cerebrales particulares como los ganglios basales por ahora conforman una información científica limitada y de poca extrapolabilidad a humanos.

De este modo, los estudios en animales de laboratorio y los reportes de casos de intoxicación aguda en humanos han aportado evidencias insuficientes para ponderar si paraquat es efectivamente capaz de afectar al sistema nervioso central fuera de situaciones suicidas o exposiciones orales o inhalatorias cuasi-letales. A nivel experimental, está confirmado que una proporción menor (orden $<10\%$) de paraquat logra atravesar el epitelio intestinal. Luego de iniciar su distribución sistémica a través de la sangre, de esa carga tóxica inicial sólo una proporción menor podría atravesar la BHE en animales de laboratorio. Dado que en rata esa proporción menor no quedaba claro si alcanzaba a ser significativa en el contexto de la etiopatogenia de EP, Barlett y col. (2009) evaluaron con tecnología de imágenes de tipo PET si paraquat (radiomarcado) lograba ingresar al cerebro en monos macacos adultos machos de 10-13 kg (primates no humanos). Las imágenes fueron tomadas en forma repetida a lo largo de casi 1 h luego de la dosificación en bolo del radiotrazador. La radioactividad fue detectada principalmente fuera del encéfalo, indicando que una cantidad muy baja de la carga tóxica circulante en sangre lograba atravesar BHE. De las regiones cerebrales marcadas, la mayoría fue encontrada en glándula pineal y los ventrículos laterales. La señal radioactiva en las regiones de los ganglios basales asociadas a la EP mantuvieron niveles equivalentes a la concentración de emisión radiactiva de la sangre, lo cual indica que no hubo acumulación particular en esas regiones ni a corto (pocos minutos) ni a mediano (casi 1 h) plazo post-dosificación de paraquat.

Otro punto que amerita enfatizar es que la asociación etiológica que se propone entre la exposición a paraquat y la generación de alteraciones del tipo EP en células neuronales tiene como evento explicativo central la inducción de gliosis y α -sinucleína en las regiones neurogliales sensibles, pero se sabe muy poco sobre cómo podría actuar paraquat a nivel del sistema nervioso periférico, donde también podrían ocurrir procesos pro-inflamatorios, inducción de α -sinucleína y citotoxicidad acumulativa. Por ejemplo, existe evidencia emergente sobre efectos pro-inflamatorios de dicloruro de paraquat en el plexo nervioso intestinal a medida que se repiten los episodios de exposición oral repetida a dosis subclínicas en ratón adulto joven (Naudet y col., 2017).

“Paraquat”

Toda la evidencia discutida más arriba no debería ser interpretada como confirmatoria de la ausencia del ingreso de paraquat al sistema nervioso central a lo largo de semanas, meses o años de exposición repetida a una dosis “baja” (sub-neumotóxica). La supervivencia o mortalidad en episodios de intoxicaciones agudas graves en animales y humanos expuestos a paraquat está claramente relacionada a su capacidad de daño en pulmón, riñones, miocardio, bazo y musculatura esquelética; no hay evidencias que sugieran neurotoxicidad como un factor determinante fundamental de la letalidad de paraquat (De Oliveira y col., 2008). En cambio, si la BHE dejara pasar niveles bajos de paraquat al encéfalo, el $t_{1/2}$ dentro de sistema nervioso fuera de al menos varias horas, un individuo se expusiera varios días por semana, muchas semanas por año, y una vez dentro del compartimento neuroglial paraquat desarrollara su potencial como potente generador de RLs, bien podría haber zonas de alta susceptibilidad al estrés oxidativo. Si bien esto último no tiene peso de evidencia científica, tampoco es posible descartarlo con la evidencia científica actual. De hecho, el mismo trabajo de Barlett y col. (2009) discute en términos hipotéticos que una degradación gradual de BHE a medida que un individuo se exponga repetidamente a dosis sub-letales pero toxicológicamente relevantes podría propiciar la ocurrencia de concentraciones cerebrales supra-umbrales para estrés oxidativo y citotoxicidad neuronal. Esto último adquiere mayor relevancia sanitaria al considerar el trabajo de Prasad (2007) donde se muestra que paraquat se puede acumular en el cerebro de ratón en forma dependiente de la dosis oral administrada. En ese trabajo se muestra que la administración sistémica de 10 mg/kg puede causar el ingreso de paraquat al cerebro, el cual persiste en la región ventromedial por más tiempo que en otros tejidos/órganos, con un $t_{1/2}$ de ~1 mes, indicando que paraquat puede atravesar la BHE y que dosis repetidas pueden potencialmente causar exposición interna acumulativa en tejidos susceptibles. Si este hallazgo fuera extrapolable a humanos, eso implicaría que aun dosis individualmente peri-umbrales o de baja efectividad pueden ser relevantes en poblaciones que residen en o próximas a agroemprendimientos que apliquen este herbicida en forma negligente, ya sea considerando exposición ocupacional, para-ocupacional, alimentaria (dieta y agua de bebida) y/o ambiental.

Asociación etiológica entre paraquat y la etiopatogenia de EP - Nota final: En EU, la tasa de prevalencia de la Enfermedad de Parkinson (EP) se encuentra entre 66 y 12500 afectados cada 100.000 habitantes (von Campenhausen y col., 2005), lo cual muestra una variabilidad intra-

“Paraquat”

europa de casi 200 veces. Esta variabilidad puede deberse a diferencias en la capacidad de diagnóstico y registro de enfermedades crónicas en cada país, dieta, características biogeográficas, estructura de la pirámide etaria, etc. En orden a buscar evidencias de correlación y asociación causa-efecto, un punto de partida es relevar si una propuesta de paraquat como agente etiológico importante en la susceptibilidad a EP se respalda en una mayor prevalencia de este tipo de enfermedad neurodegenerativa (u otra comorbilidad relacionada al sistema nervioso nigroestriatal) en las regiones de mayor uso de este herbicida comparado a zonas agrícolas donde no se usa, o zonas urbanas donde nunca se usó. Varios autores han resaltado las dificultades para establecer una asociación entre paraquat y EP. Además de la limitada disponibilidad de monitoreos ambientales, relevamientos de residuos en alimentos y estudios en animales que usen condiciones experimentales de relevancia para escenarios realistas de exposición en población general, otro punto que debe ser considerado en este contexto es que paraquat no es el único agente neuroactivo y neurotóxico que podría facilitar/promover procesos de estrés oxidativo en áreas cerebrales vulnerables como el sistema nigroestriatal luego de exposición repetida a dosis peri-umbrales en humanos. Existen otros plaguicidas los cuales tienen usos, estructuras químicas y perfiles toxicocinéticos muy distintos, pero que en base a evidencia avanzada obtenida en animales de laboratorio comparten su potencialidad para perturbar la homeostasis neuronal, incluyendo los insecticidas piretroides, algunos carbamatos y el fungicida maneb (Moretto y Colosio, 2011). Todos estos otros plaguicidas neurotóxicos están autorizados para su uso combinado (simultáneo o secuencial) con paraquat en una amplia variedad de regiones agroproductivas y protocolos de control de plagas agrícolas en Argentina (OPDS, 2008; SENASA, www.senasa.gov.ar), por lo cual la posibilidad de su co-ocurrencia ambiental, incluyendo la presencia de sus residuos en agroalimentos, es concreta.

“Paraquat”

Efectos en la Salud Humana y la Biota - Unión Europea

Toxicidad Aguda 3 - H301	Toxicidad Aguda 3 - H311
Irritación Dermal 2 - H315	Irritación Ocular 2 - H319
Toxicidad Aguda 2 - H330	STOT SE* 3 - H335
STOT RE** 1 - H372	Toxicidad Aguda (Biota Acuática) 1 - H400
Toxicidad Crónica (Biota Acuática) 1 - H410	

* STOT SE (clasificación alternativa de peligrosidad según sistema GHS) = Toxicidad Específica de Órgano Blanco para episodios únicos/simples de exposición. Clase 1 = mayor nivel de peligrosidad para humanos.

** STOT RE (clasificación alternativa de peligrosidad según sistema GHS) = Toxicidad Específica de Órgano Blanco para casos de exposición repetida. Clase 1 = mayor nivel de peligrosidad para humanos siguiendo episodios de exposición repetidos o exposiciones de duración prolongada.

Actualización 2019-2020**: al presente no se han propuesto modificaciones para la clasificación de peligros y riesgos

Index No	International Chemical Identification	EC No	CAS No	Classification	
				Hazard Class and Category Code(s)	Hazard statement Code(s)
613-090-00-7	paraquat dichloride; 1,1-dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride; [1] paraquat dimethylsulfate; 1,1-dimethyl-4,4'-bipyridinium dimethyl sulphate [2]	217-615-7 [1] 218-196-3 [2]	1910-42-5 [1] 2074-50-2 [2]	Acute Tox. 2 * Acute Tox. 3 * Acute Tox. 3 * STOT RE 1 Eye Irrit. 2 STOT SE 3 Skin Irrit. 2 Aquatic Acute 1 Aquatic Chronic 1	H330 H311 H301 H372 ** H319 H335 H315 H400 H410

**Los criterios estrictos que determinan que un agente tóxico sea clasificado con uno u otro grado de peligrosidad y precaución han sido detallados en el mismo documento. Actualmente (19-12-2020) disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/669/oj/eng>

“Paraquat”

En cuanto a los estudios de exposición repetida subcrónica y crónica en ratas, paraquat está clasificado como Posible Carcinógeno en Humanos (Clase C). No cumple con criterios de genotoxicidad-mutagenicidad ni como agente sensibilizante de piel.

En escenarios de exposición realista, la evidencia acumulada no es suficiente para clasificarlo como neurotóxico. En dosis que no causan toxicidad evidente en las madres, paraquat no se considera un agente tóxico para los fetos en desarrollo, ni causa efectos adversos a nivel de la reproducción.

Existen unos pocos trabajos (animales; humanos) que conforman un base de evidencia emergente e insuficiente que aún no permiten clasificar a paraquat como disruptor endócrino; entre los hallazgos potencialmente más relevantes de estos estudios se puede mencionar la posibilidad de una asociación entre exposición repetida a paraquat e hipotiroidismo (Goldner y col., 2010).

Clasificación regulatoria de efectos (*health effects* HE) - OSHA (USA)

- HE10 – Efectos en la respiración (además de irritación) – Daño pulmonar acumulativo
- HE7 – Trastornos de Sistema Nervioso – Otros efectos neurológicos (además de narcosis)
- HE5 – Puede afectar la reproducción, y causar trastornos del desarrollo fetal y otros deterioros en la capacidad reproductiva y el desarrollo temprano
- HE17 – Asfixiantes - Causa Anoxia






Valor guía - Exposición laboral (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, ACGIH = 0,5 mg/m³)

UN (2012). Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. Comité de Examen de Productos Químicos, 8ª reunión, Ginebra, 19-23 de marzo de 2012. UNEP/FAO/RC/CRC.8/9/Rev.1.

Disponible en: <file:///C:/Users/DELL/Downloads/UNEP-FAO-RC-CRC.8-9-Rev.1.Sp.pdf>

“Paraquat”

Otros datos de clasificación regulatoria – Peligros para la Manipulación

Property 	Value and interpretation
General 	Not explosive or oxidising IMDG Transport Code is usually 6.1
CLP classification 2013	-
EC Risk Classification 	T+ - Very toxic: R26 T - Toxic: R24/25, R48/25 Xi - Irritant: R36/37/38 N - Dangerous for the environment: R50, R53
EC Safety Classification 	S1/2, S22, S28, S36/37/39, S45, S60, S61
WHO Classification	II (Moderately hazardous)
UN Number	Usually 2811
Waste disposal & packaging 	Packaging Group I / II (great / medium danger)

Extraído de PPDB*, Pesticide Properties DataBase. University of Herefordshire. Última actualización: Noviembre 2019.
<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/1524.htm>

*Ver detalles de este programa en: Lewis, K.A. y col. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 22(4), 1050-64.

IMDG = International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Codes UN Number, relacionado a la codificación de peligrosidad para el transporte a través de barreras aduaneras y comerciales

Estimadores de niveles umbrales de peligro – Unión Europea

Riesgo Dietario (residuos que se encuentran en alimentos y agua de consumo humano)

- ADI 0,004 mg/kg/día [Dir 03/112]**

Exposición Aguda Agregada (múltiples caminos de ingreso al organismo)

- ARfD 0,005 mg/kg/día [Dir 03/112]**

**A partir de otra fuente (JMPR, 2004): ARfD = 0,006 mg/kg; ADI = 0,005 mg/kg/día

Exposición de operadores/trabajadores (múltiples vías de ingreso)

- AOEL 0,0004 mg/kg/d día [Dir 03/112]

ADI = nivel guía de peligro para la ingesta diaria de alimentos

ARfD = dosis de referencia para toxicidad aguda; incluye consideración de factores de incertidumbre y factores modificadores de la seguridad.

AOEL = Acceptable Operator Exposure Level = nivel guía para la exposición aguda en el ámbito laboral

“Paraquat”

Nota: si bien la exposición en zonas agrícolas debe respetar las BPAs establecidas para cada aplicación, cada cultivo, cada biogeografía y cada condición ambiental, en el caso de paraquat existen datos de efectos preocupantes a nivel sanitario. Mientras el umbral de dosis de toxicidad oral aguda en humanos se podría estimar (probablemente con amplio grado de incertidumbre) en 5-10 mg/kg, en condiciones realistas pueden liberarse al ambiente niveles de posible relevancia toxicológica para humanos. Por ejemplo, en un estudio de administración oral repetida de 20 mg/kg/día de paraquat por solo 4 días causó la muerte de los animales al término de una semana (WHO/FAO, 1971). Bajo condiciones agrícolas realistas, en Argentina existen reportes sobre mortandad de animales en condiciones silvestres y ganado de cría. Por ejemplo, vacas que pastoreaban libremente en zonas donde se aplicó previamente paraquat (TELAM, 2016). Si se toma como referencia de peligrosidad el valor de 20 mg/kg que en un estudio sistemático demostró la más alta toxicidad posible (mortandad), se puede concluir que poblaciones humanas sin protección adecuada que conviven en las mismas tierras que el ganado y los animales silvestre susceptibles puede ocasionalmente exponerse a niveles tóxicos a través de la dieta, la piel y/o el aire? La falta de información impide al presente responder esta pregunta con fundamento científico. Los efectos sub-letales más sensibles suelen manifestarse en animales de laboratorio (rata/ratón) administrados niveles del orden $\leq 10^{-2}X$ respecto a la DL50 de los plaguicidas (Wolansky y Harrill, 2008). Un valor guía para salud humana de 0,0001 – 0,0050 mg/kg parece ser suficientemente protectorio, y un punto comparativo de referencia a considerar en futuras evaluaciones de riesgo en poblaciones vulnerables de nuestro país.

8.7. Bioacumulación y biomagnificación en las cadenas tróficas acuáticas y terrestres

En diferentes tipos de estudios realizados en varias especies de peces, se ha afirmado que el paraquat no presenta un potencial para bioacumularse (Tomlin 2003). Se calculó un factor de bioconcentración (BCF) de 0,05 a 6,9 para paraquat basándose en estudios con varias especies de peces (NLM 1994). Según dato de la Union Europea, un plaguicida tiene potencial de bioacumulación cuando el BCF está por encima de 2000 (UE 2009).

En lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) se ha reportado que el paraquat se adsorbe a través del intestino y en otros invertebrados o microartrópodos se excretan rápidamente siendo no bioacumulable en tejidos (Summers 1980).

9. Impactos en la salud humana

9.1. Efectos en humanos: la vigilancia de intoxicaciones causadas por plaguicidas en Argentina. Evidencia nacional de intoxicaciones documentadas.

La toxicovigilancia es una herramienta fundamental de la evaluación de riesgos para la salud y de la efectividad de las medidas regulatorias (efectivo control) que hacen a la seguridad de los productos químicos en sus diversas etapas de uso. Debe permitir determinar de qué manera las intoxicaciones están afectando la salud de la población, los grupos de personas más implicadas, el tipo y características de las exposiciones de mayor riesgo, los principales agentes químicos o toxinas involucrados, entre otros factores determinantes, con el objetivo final de orientar las acciones de prevención y control que disminuyan el efecto negativo a la salud de este tipo de agentes en los lugares donde se identifican casos (García, 2016).

Afirma Susana García (2016) “Las intoxicaciones por plaguicidas de uso agrícola, constituye, sin lugar a dudas, el problema principal en materia de epidemiología de las intoxicaciones en muchos países de América Latina”.

En Argentina, las intoxicaciones por plaguicidas se encuentran entre las Enfermedad de Notificación Obligatoria (ENO) incluidas en el Sistema Nacional de Vigilancia de la Salud (SNVS). Es importante destacar que la notificación de las intoxicaciones por plaguicidas al SNVS, coordinada por la Dirección de Epidemiología del Ministerio de Salud de la Nación, es obligatoria para los casos de brotes, según la Ley 15.465/1960 de Notificaciones Médicas Obligatorias y sus normas complementarias.

En el año 2010 se creó en el país el Programa Nacional de Prevención y Control de las Intoxicaciones por Agroquímicos, a partir de identificar que las intoxicaciones por plaguicidas han sido el principal motivo de consulta de los Centros de Información y Asesoramiento Toxicológico (CIAT).

Vale aclarar que el Programa de Prevención y Control de Intoxicaciones por Agroquímicos fue creado por Resolución (MSN) N° 276/10, con los siguientes objetivos: a) Identificar y relevar los factores de riesgo asociados a las intoxicaciones por plaguicidas en el país, con el fin de desarrollar respuestas específicas tendientes a la mejora de la prevención y control; b) Identificar el perfil de severidad de los casos de intoxicaciones agudas por plaguicidas; c) Identificar la frecuencia, las circunstancias de exposición y las características del paciente asistido (consulta telefónica, consultorio, internación) por exposición o intoxicación aguda que se incorpora a la

“Paraquat”

Unidad o Sitio Centinela; d) Identificar la frecuencia, las características y la forma de uso de cada plaguicida asociado a un caso de exposición o intoxicación aguda. Para ello, se prevé intensificar la vigilancia de las exposiciones e intoxicaciones por plaguicidas a través del SNVS. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/160000-164999/164248/norma.htm>

Por su parte, los centros incluidos en el CIAT brindan un servicio de información toxicológica sobre medicamentos, sustancias y productos químicos o venenos de origen natural a profesionales y ciudadanos, personalmente o por vía telefónica o electrónica. También asesoran sobre prevención, diagnóstico y tratamiento de intoxicaciones y desarrollan programas de educación comunitaria, capacitación profesional y de vigilancia de efectos adversos medicamentosos e intoxicaciones. Las consultas se registran en la Ficha Única de Registro de Consultas Toxicológicas de la Red Argentina de Toxicología con los siguientes datos: tipo y origen de la consulta, sexo y edad de la persona expuesta, motivación de la exposición, uso del tóxico, vía de ingreso, severidad del efecto, mes de la consulta y jurisdicción de origen de la consulta.

Entre las acciones de dicho programa se menciona *“la preparación de Boletines Informativos Trimestrales con la información recibida, incluyendo los resultados obtenidos mediante análisis de laboratorio, los que serán enviados a las Direcciones de Epidemiología provinciales, a los responsables de las Unidades y Sitios Centinela y a todo profesional que lo requiera”*.

La búsqueda de información realizada para la elaboración del presente informe da cuenta de la ausencia de tales boletines. Su producción sería de enorme utilidad con fines de vigilancia toxicológica a nivel nacional.

Argentina dispone desde 2014 de una normativa y su respectivo tutorial para la vigilancia clínica y laboratorial de intoxicaciones a través del SNVS. El tutorial detalla, para cada evento no sólo la justificación y objetivos de la notificación sino también la modalidad, periodicidad y definición de caso (MSAL, 2014). Esta normativa y su tutorial surgen de un consenso entre la Red Argentina de Toxicología y Área de Vigilancia del Ministerio de Salud de la Nación, consenso que cobra relevancia en materia de salud pública en términos de su implementación. Agrega, como herramienta para la vigilancia, la Planilla de Investigación Epidemiológica Complementaria (PIEC) específica que se utiliza para registrar la información de la investigación epidemiológica realizada (lugar probable de exposición, circunstancia accidental, laboral, intencional, ambiental, sospecha de brote, embarazo, fallecimiento, sospecha de fuente de contaminación) y puede ser utilizada

“Paraquat”

como ficha para las unidades centinela (Centros de Información y Asesoramiento Toxicológico, en su rol de unidades centinela de vigilancia de intoxicaciones).

Si bien los plaguicidas se encuentran como “grupo de evento” a notificar, sólo los inhibidores de colinesterasas (plaguicidas carbamatos y organofosforados) se incluyen en la vigilancia laboratorial, por lo que no se reporta en el SNVS información de exposición o intoxicaciones discriminada para el/los herbicidas de interés en este informe. El mencionado Programa de Prevención y Control de Intoxicaciones por Plaguicidas, prevé ampliar el número de plaguicidas a vigilar en caso de ser necesario, situación que debiera contemplarse en la actualidad, atendiendo a los perfiles de plaguicidas de mayor uso en el territorio nacional.

Se analizan a continuación los datos de intoxicaciones agudas por plaguicidas reportados en una serie de diez años en los Boletines Integrados de Vigilancia Epidemiológica (Dirección Nacional de Epidemiología y Vigilancia de la Salud, Ministerio de Salud de la Nación); información del SNVS, cuya fuente primaria de datos son las planillas C2 y SIVILA. Se retuvieron los últimos disponibles de cada año del período seleccionado (2010-2019), ya que sintetizan la información anual. Como ya se mencionó, se trata de información agrupada sin discriminación de tipo plaguicida; sin embargo, se ha valorado que permite una aproximación a la problemática de la exposición e intoxicaciones por plaguicidas, en ausencia de una información más detallada a nivel país, sus alcances y limitaciones.

La Tabla 10 expone el número de notificaciones totales por año y por región durante el período, según la información disponible. En esta serie, entre los años 2009 y 2012, las notificaciones han sido discriminadas según se trate de intoxicaciones con plaguicidas de uso agrícola, de uso doméstico o “sin especificar”, categoría que acumula la mayoría de los casos durante este intervalo del período (el boletín del año 2011 no discrimina aquellas “sin especificar”).

Además, partir del año 2012, se cuenta con la información discriminada de casos notificados y confirmados. El Boletín del año 2017 incorpora un apartado introductorio que aclara la siguiente información: A partir de marzo de 2013 se ha incorporado una nueva metodología que consiste en la integración de la información proveniente de los módulos de Vigilancia Clínica y Laboratorial del SNVS (C2 y SIVILA), de manera tal de poder reflejar las notificaciones que han sido vertidas al sistema de vigilancia en ambas estrategias para una serie de eventos, entre ellos, Intoxicaciones por Plaguicidas. Los datos incluyen todas las notificaciones al sistema de vigilancia, tanto los casos sospechosos como aquellos confirmados, los eventos en eliminación y

“Parquat”

aquellos que se notifican sin ninguna confirmación o estudio complementario. Se destaca la baja relación entre casos notificados y casos confirmados; atendiendo a las características farmacocinéticas de los diferentes plaguicidas y sus vidas medias, podría esperarse que su identificación laboratorial, o la de sus metabolitos, no se logre. Sin embargo, despierta interrogantes acerca del funcionamiento de la vigilancia en su conjunto. El número de casos reportados, no parece seguir un patrón, ni por región ni en el tiempo.

Los Boletines N°433 y N°479, de 2018 y 2019 respectivamente, han reportado sólo eventos priorizados, así, no se incluyen las intoxicaciones por plaguicidas entre los mismos (dejando un importante vacío de información a este respecto).

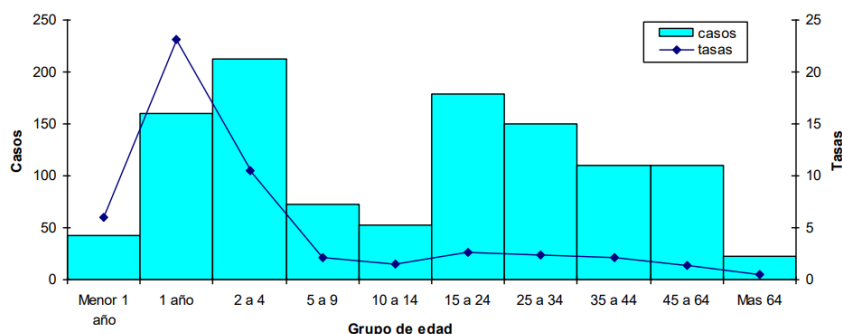
Tabla 10. Intoxicaciones por plaguicidas notificadas en el Sistema Nacional de Vigilancia de la Salud. Totales según región y año. Boletines Integrados de Vigilancia (BIV), período 2009-2019.

Año	Región					Total país
	Centro	Cuyo	NEA	NOA	Sur	
2009	671	194	363	817	29	2074
2010	375	150	314	202	41	1082
2011	371	85	81	127	15	679
2012	390	69	0	114	53	626
<i>confirmados</i>	282	1	0	90	15	388
2013	358	140	274	345	33	1150
<i>confirmados</i>	282	2	0	152	17	453
2014	381	100	288	388	75	1232
<i>confirmados</i>	211	4	0	206	7	428
2015	344	64	434	459	126	1427
<i>confirmados</i>	198	1	0	276	8	483
2016	233	72	382	832	278	1788
<i>confirmados</i>	150	2	0	183	8	343
2017	245	88	232	486	105	1156
<i>confirmados</i>	167	7	0	114	1	289
2018						s/d
2019						s/d

Fuente: elaboración propia a partir de información reportada en los BIV

“Paraquat”

En el Boletín N°102 (año 2010), se analiza de manera comparativa la tasa de incidencia de intoxicaciones según provincias, regiones y grupos de edad, detallándose que: “la tasa de notificación país para todos los grupos de edad es de 2,8 x 100.000 habitantes. En los casos menores de un año la tasa es hasta 9 veces mayor que el promedio país para el resto de las edades”. Se destaca el impacto de estas en niñas y niños (Figura 8).



Fuente: Sistema Nacional de Vigilancia de la Salud, Módulo C2 (SNVS-C2)

Figura 8. Intoxicaciones por plaguicidas según grupo de edad. Casos y tasas por 100.000 habitantes. Argentina 2010. Boletín Integrado de Vigilancia N°102. Ministerio de Salud de la Nación

Siempre según la misma fuente, y para el período 2009-2012, las intoxicaciones notificadas en la categoría de “plaguicidas de uso doméstico” totalizaron 1681 casos, superando en casi 60% a aquellas causadas por “plaguicidas de uso agrícola” (1009 casos), dato por demás llamativo, siendo Argentina un país de larga tradición agrícola.

Se consultaron los Informes de Accidentabilidad Laboral correspondientes al rubro de actividad “Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca”, de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo, (Informe según rubro de actividad, período 2010 a 2019). Tal como se expone en la Figura 9 en el período analizado se reportaron entre 205 y 87 intoxicaciones, y en conjunto, el período presenta una tendencia descendente en este motivo de accidentes laborales. Sin embargo, contrastando esta información con aquella procedente de otras fuentes, este bajo reporte de casos debe alertar sobre la situación de salud de los/as trabajadores agrícolas y la notificación de los eventos vinculados con la exposición a plaguicidas y potenciales daños a la salud asociados.

“Paraquat”

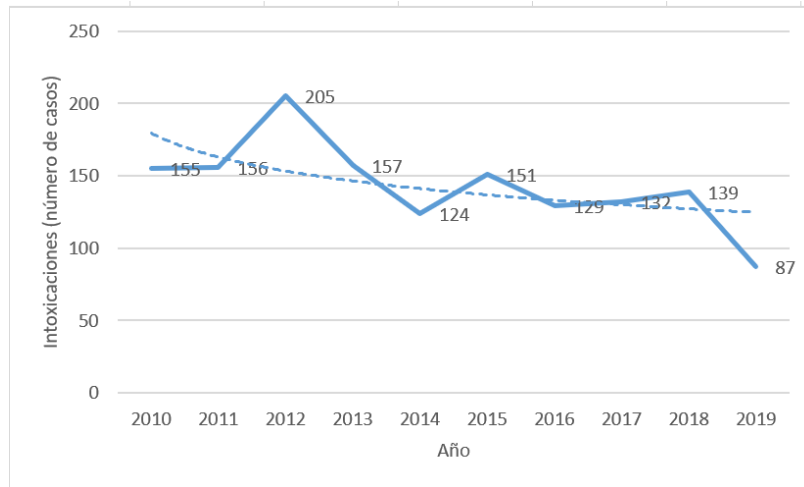


Figura 9. Intoxicaciones reportadas en el rubro Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, Superintendencia de Riesgos de Salud. Argentina. Número de casos y línea de tendencia, período 2010-2019.

Fuente: elaboración propia a partir de los reportados por el Boletín Estadístico Anual de Accidentabilidad por Sector, SRT.

El mismo organismo publicó un informe sobre empleo, protección social y condiciones de trabajo de asalariados agrarios (SRT, 2014), que incluyó entre sus objetivos, analizar la percepción de los asalariados agrarios respecto de su estado salud. El estudio tomó una muestra representativa, de base poblacional, de asalariados agrarios de 10 provincias de Argentina (n=4.866 personas). Casi la mitad (47,9%) reportó estar en contacto con sustancias químicas, 28,2% consideró que el trabajo que realiza afecta su salud y el 6,4% afirmó haber tenido una enfermedad relacionada con el trabajo, diagnosticada por un médico. Respecto de los principales signos o síntomas percibidos, 38,5% reportó irritación de mucosas por agroquímicos. Estos reportes contrastan con los datos de accidentabilidad laboral de la propia SRT y del Boletín Integrado de Vigilancia Epidemiológica, y son coincidentes con lo reportado por la bibliografía en nuestro país, respecto de condiciones de salud de trabajadores agrícolas de cultivos extensivos e intensivos (Franchini et al., Butinof et al., 2015), aportando nueva evidencia al ya bien documentado subregistro de intoxicaciones por plaguicidas en los sistemas de vigilancia de la salud, tanto en Argentina como en el continente. En este sentido, Mena y col. (Mena y Col, 2004, citado por García 2016), reportaron en Chile, en base al análisis de casi 100.000 consultas (período 1995-2002) que el 64,2 % de las mismas provino de la residencia de los pacientes, 30,8 % de instalaciones médicas, el restante 5 % corresponde a llamadas provenientes desde el lugar de trabajo del interlocutor, instituciones educativas y lugares públicos, entre otros. En el mismo sentido, en Argentina,

“Paraquat”

Altamirano y col (2004) publicaron un estudio sobre una población de 379 trabajadores rurales de cultivos de tabaco de la provincia de Jujuy; pusieron en evidencia que el 25 % había sufrido al menos un episodio de intoxicación aguda por plaguicidas, de los cuáles el 49,5 % no había concurrido a una consulta médica, indicando el importante subregistro de intoxicaciones que existe en algunas poblaciones (Altamirano y col. 2004). En Costa Rica en el 2001 en el marco del desarrollo del Proyecto PLAGSALUD (OMS/OPS, 2013), se encontró que el porcentaje de intoxicaciones que no son registradas en el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica oscila entre el 82,2 % y el 97,8 %, y que el 26 % de los pacientes que recibieron atención médica fueron atendidos por médicos particulares o de empresas, sin que estos casos fueran notificados al Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica el 26 % de los pacientes que recibieron atención médica fueron atendidos por médicos particulares o de empresas, sin que estos casos fueran notificados al Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica.

En este marco, los Centros de Información y Asesoramiento y Atención Toxicológica (CIAATs) cumplen un rol fundamental en su calidad de unidades centinela.

En el año 2000 se publicó el primer informe estadístico de CIAATs en nuestro país (García et al, 2000). Entre sus resultados, se reportó que los principales consultantes a los Centros son las personas desde sus hogares (34%). La población de 0 a 14 años motiva el mayor porcentaje de consultas (59%) y el grupo de 1 a 4 años ocupó el primer lugar con un 37% del total. El 72% fueron intoxicaciones no intencionales (54% accidentales). Los plaguicidas de uso doméstico se asociaron al 12% de las consultas y los de uso agrícola al 2%. El tercer informe (2002), refuerza la procedencia desde la comunidad de las consultas (64%), y el impacto en población infantil (0 a 14 años, 57% de los casos), habiendo ocurrido el 86% de los eventos (de intoxicación o exposición) en el ámbito doméstico, y aproximadamente el 80% de los ocurrieron de modo no intencionales. Los plaguicidas fueron el 3er agente involucrado en orden de frecuencia, ocasionando el 13% de los eventos. No se encontraron informes posteriores a esta fecha (2002).

A fin de profundizar en el conocimiento de los eventos de intoxicaciones por plaguicidas asistidos por los CIATs y otros organismos que forman parte de la REDARTOX, se consultó con referentes de diversos CIATs y laboratorios públicos y privados, en varias provincias del país, a partir de contactos han sido provistos por la Dra. Susana García. A tal fin, se estableció un primer contacto telefónico o por correo electrónico, y se envió una breve guía de entrevista a quienes respondieron al primer contacto. Se recibieron resultados del CIAT dependiente del

“Paraquat”

Departamento de Toxicología del Ministerio de Salud, Desarrollo Social y Deportes de la Provincia de Mendoza (Dr. Sergio Saracco), del Centro Provincia de Referencia en Toxicología, - CEPROTOX, Hospital Interzonal Especializado en Toxicología y Salud Mental de La Plata (Dra. Mariana Remes Lenicov) y del Departamento de Salud Ambiental, Ministerio de Salud de la Provincia de Córdoba (Dra. Nilda Gait). El informe provisto desde la Provincia de Córdoba detalla que en el período analizado (2015 a 2019), se notificaron 137 intoxicaciones por plaguicidas en el hogar y 17 de uso agrícola, sin registro de intoxicaciones causadas por PQT.

El Dr. Sergio Saracco, del CIAT de Mendoza reportó intoxicaciones registradas en el período 2000-2020 (Figura 10), (se excluye del análisis el 2020 para dejar años completos), diferenciando plaguicidas de uso agrícola en general y herbicidas. En promedio, durante ese período ocurrieron anualmente 6,65 intoxicaciones por herbicidas. En comunicación telefónica, el Dr. Saracco refirió que a menudo las intoxicaciones se reportan sin identificar el agente causal (producto). Respecto de las intoxicaciones en las que se pudo identificar el agente, Paraquat fue el causante de 20 casos, el 75% ocurrieron entre los 15 y los 39 años, aunque fueron afectadas personas en un rango de edad que incluye desde menores de un año a mayores de 70 años. La Tabla 11 expone características de las intoxicaciones reportadas. En esta provincia, 20% de los casos identificados respondieron a tentativa de suicidio (4/20) y 65% fueron ocurrieron en el ámbito laboral (13/20). Uno de los casos resultó fatal.

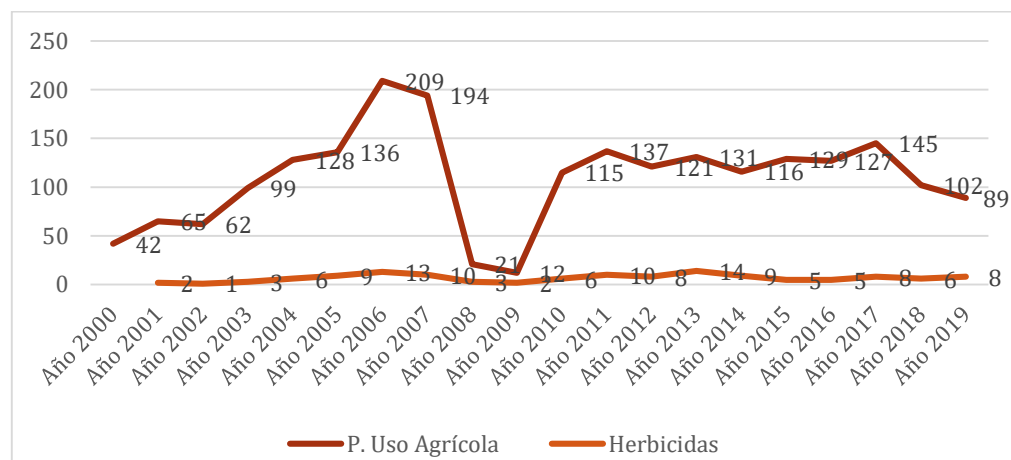


Figura 10. Intoxicaciones causadas por plaguicidas de uso agrícola (sin distinción) y herbicidas, registradas en el CIAT de Mendoza, período 2000-2019. Número de casos ocurridos entre los años 2000 y 2019. Fuente: elaboración propia a partir de los datos reportados por el Dr. Sergio Saracco, CIAT Mendoza

“Paraquat”

Tabla 11. Características de las intoxicaciones agudas por Paraquat, reportadas por el CIAT de Mendoza, período 2000-2020.

Severidad del cuadro clínico	Número de casos
Asintomático	5
Fatal	1
Leve	8
Moderado	6
Intencionalidad	
Accidental	3
Ocupacional	13
Tentativa Suicida	4
Vía ingreso	
Oral	6
Mucosa	1
Inhalatoria	3
Percutánea	9
Mas de una vía	1

Fuente: elaboración propia a partir de los datos reportados por el Dr. Sergio Saracco, CIAT Mendoza

Por otra parte, La Dra. Mariana Remes Lenicov, médica del Servicio de Toxicología del Centro Provincial de Referencia Toxicológica (CEPROTOX) de La Plata, reportó las intoxicaciones agudas en las que se pudo identificar como agente causal PQT, (abarcando el período 2017 a 2020). El informe remitido, expresa (cita textual):

“...Es el más potente y más tóxico de los herbicidas usados en nuestra región. En nuestra experiencia predominan los casos graves por ingestas con intención suicida las cuales generalmente comprometen a pacientes jóvenes que terminan en muerte ó en el mejor de los casos con secuelas permanentes que requieren tratamiento de por vida. De acuerdo a la cantidad de paraquat ingerida, puede tener efectos locales y generales. Por su poder cáustico local se describen ulceraciones con pseudomembranas en orofaringe y esófago a las pocas horas post exposición con dolor urente de boca y retro esternal. Luego y según la magnitud de la intoxicación en el transcurso de 2-3 semanas puede

“Paraquat”

aparecer un trastorno gastrointestinal con vómitos y diarrea, perforación esofágica y mediastinitis; alteraciones respiratorias de tipo restrictivas que pueden evolucionar a edema agudo de pulmón no cardiogénico, distress respiratorio del adulto, fibrosis pulmonar y muerte. También afecta la funcionalidad renal llevando a fracaso renal agudo por necrosis tubular. A nivel hepático con aumento de transaminasas y bilirrubina, aumento de amilasa por pancreatitis; fallo cardíaco y arritmias graves por miocarditis tóxica; necrosis de glándulas suprarrenales y hemorragias cerebrales. El paciente termina falleciendo por fallo multiorgánico o sobrevive al cuadro agudo con secuelas graves de tipo estenosis esofágicas o restricciones pulmonares por fibrosis. No se dispone de antídoto específico y eficaz. Los tratamientos de sostén son poco efectivos cuando se trata de pacientes graves con fallo multiorgánico en desarrollo. La N-acetil cisteína ha demostrado en nuestra experiencia mejorar la función hepática en estos pacientes, pero parece no influir en el desarrollo natural del resto de las complicaciones”.

En el período informado (enero 2017 a octubre 2020), se registraron 25 intoxicaciones por PQT (de las 15 ocurrieron en los últimos dos años, seis en 2019 y 9 en 2020). El 72% (18/25) respondieron a tentativas de suicidio (incluyendo las 15 de los últimos dos años), tres intoxicaciones fueron accidentales y tres ocupacionales, uno causada por intoxicación alimentaria. Respecto de las intoxicaciones que respondieron a intentos de suicidio, 55% (10/18) ocurrieron entre mujeres; el rango de edad de las personas afectadas fue de 16 a 30 años; es de destacar que cinco tenían menos de 20 años.

Se incorpora a continuación una descripción de algunos cuadros clínicos, reportados por la Dra. M. Remes Lenicov¹.

RESUMEN DE ALGUNAS HISTORIAS CLINICAS DE PACIENTES INTERNADOS EN HOSPITALES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Reporte enviado por la Dra. Mariana Remes Lenicov, Médica de Planta del Servicio de Toxicología. Centro Provincial de Referencia Toxicológica (CEPROTOX). La Plata.

Caso 1: 4/1/2020 21:00 hs. Se comunican del Hospital San Juan de Dios de La Plata, por paciente masculino de 30 años por ingesta intencional de GRAMOXONE SUPER[®]

¹ Dra. Mariana Remes Lenicov, Máster Universitario en Toxicología por la Universidad de Sevilla. España. Jefe Trabajos Prácticos de la Cátedra de Toxicología Facultad de Medicina. UNLP. Médico de planta del del Servicio de Toxicología. Centro Provincial de Referencia Toxicológica (CEPROTOX) de La Plata.

“Paraquat”

(Paraquat) de latencia desconocida, lo encuentran con pérdida de conciencia en su domicilio, ingresa inconsciente, FC 105 lpm, TA 120/70, presenta diarrea y lesiones corrosivas en cavidad oral. Los primeros laboratorios muestran una acidosis láctica con compromiso respiratorio saturando al 89-90% a pesar de la asistencia respiratoria mecánica. Se dan pautas de corrección de medio interno y sostén hemodinámico. Al día siguiente a las 8:30 hs se nos comunica que el paciente falleció de un paro cardio-respiratorio.

Caso 2: 12/5/2020 10:30 hs. Se comunican de Hospital San Martín de La Plata por paciente masculino de 26 años que consulta por náuseas, vómitos, disfagia y dolor de cavidad oral. Refiere que dos días previos en el contexto de un abuso de alcohol toma un trago de GRAMOXONE° (Paraquat). A la exploración se evidencian ulceraciones sangrantes en toda la cavidad oral y sialorrea por incapacidad de tragar su propia saliva. Hemodinámicamente estable, laboratorios normales. Se indica ayuno y realizar interconsulta con Gastroenterología. Requiere Tramadol por dolor y buches de lidocaína. Se decide no hacer endoscopia e iniciar alimentación con dieta líquida. El día 27/5/2020 el paciente decide retirarse del hospital por sus propios medios.

Caso 3: 30/5/2020 10:00 hs. Se comunican desde área COVID del Hospital A. Korn de M. Romero por paciente femenina de 23 años que ingresa por disfagia y ardor faríngeo que al realizarle el hisopado evidencian lesiones ampollares y ulcerosas en cavidad oral. Al interrogatorio surge que el 27/5/2020 estuvo internada en el mismo Hospital por ingesta intencional, por una discusión con su pareja, de una tapita de un “matayuyo”, se dan pautas de Glifosato y Paraquat, luego de una hora su marido confirma que el producto se llama PARAQUAT SIGMA°. Sin repercusión sistémica la paciente fue mejorando sus lesiones bucales. El día 8/6/2020 se reciben los resultados de Espirometría s/p, buena tolerancia a semisólidos por vía oral según indicación del servicio de Gastroenterología quienes la seguirán por consultorios externos para el seguimiento de secuelas deglutorias cicatrizales.

Caso 4: 11/7/2020 12:40 hs. Se comunican del Hospital A. Korn de La Plata por paciente masculino de 22 años que en el contexto de una pelea familiar toma intencionalmente unos tragos de GRAMOXONE° (Paraquat). El paciente ingresa con dolor referido a hipocondrio derecho, ictericia y lesiones ulcerosas en lengua y mucosa oral. Los laboratorios de ingreso demuestran una insuficiencia renal severa, insuficiencia hepática con bilirrubina en franco aumento correspondiendo con la clínica del paciente. Se indica Rx Tórax, restringir al máximo la aplicación de oxígeno mientras la clínica del paciente lo permita e iniciar tratamiento antidótico con NAC (N-acetil Cisteína). Luego de 12 hs de NAC se realiza control de laboratorio con franca mejoría de parámetro hepático. Se indica hemodiálisis ya que el paciente se encuentra en anuria por fallo renal. El día 14/7/2020 se indica suspender NAC dada la mejoría de parámetros hepáticos, pero nos informan que deben intubar al paciente por mala mecánica ventilatoria saturando 75%. El día 16/7/2020 nos informan que el paciente falleció en el contexto de un fallo multiorgánico.

“Paraquat”

Caso 5: 5/5/2019 13:00 Hs. Se comunican del Htal A. Korn de La Plata por paciente femenina de 15 años por ingesta de un sorbo de un Herbicida el día 28/4/2019 que consultó al Hospital y luego de 12 hs de observación la paciente se retiró sin alta médica. Actualmente acude por dolor retro esternal, sialorrea y odinofagia, sin posibilidad de alimentarse adecuadamente. Laboratorios con parámetros hepáticos y renales dentro de límites normales. Rx tórax S/P. Siendo evaluada por el servicio de Gastroenterología se informan heridas friables y otras cicatrizales en cavidad oral que seguirá en tratamiento por consultorio externo de dicho servicio.

Caso 6: 24/5/2019 7:00 Hs. Se comunican del Htal San Martin de La Plata por un paciente masculino de 21 años que consulta por dolor orofaringe y sialorrea desde el día anterior, cuando, por una discusión con su pareja ingirió voluntariamente GRAMOXONE° (paraquat). El médico tratante describe las lesiones orofaciales como corrosivas, muy dolorosas que impiden la gesticulación, por tanto el paciente se comunica escribiendo. El laboratorio se informa como normal con una leve falla renal posiblemente prerrenal por deshidratación. Rx tórax s/p. El día 29/5/2019 es valorado por servicio de Gastroenterología quien indica alimentación parenteral y seguirá siendo evaluado por dicho servicio para evaluar reconstrucciones de la cavidad oral.

Caso 7: 13/7/2019 16:00 hs. Se comunican de Hospital Mi Pueblo de Fcio Varela por paciente femenina de 26 años que ingresó el día 6/7/2019 por ingesta voluntaria de “Desfos” (plaguicida organofosforado) , se le realizaron métodos de eliminación y al no tener síntomas colinérgicos se deja en observación , la paciente se queja de disfagia y comienza con sialorrea intensa, al volver a interrogar también refiere haber tomado unos cuantos tragos de GRAMOXONE° (Paraquat) por lo tanto se indica realizar laboratorio completo con función hepática y renal y completar con Rx Torax y espirometría. El día 8/7/2019 ingresa a UTI para Asistencia respiratoria mecánica por parámetros restrictivos respiratorios con sat del 90% e insuficiencia renal aguda y transaminasas hepáticas aumentadas por 2. El día 16/7/2019 intentan realizar traqueotomía la cual fue imposible por la friabilidad del tejido afectado, esta maniobra empeora su cuadro respiratorio. El día 20/7/2019 paciente estable hemodinámicamente, adaptada al respirador sin posibilidad de extubar dado el gran compromiso pulmonar secundario al Paraquat.

Estas intoxicaciones, según lo recién expuesto, responden fundamentalmente a intentos de suicidio, se encuentran muy poco reportadas en la literatura nacional específica. Hernández et al., (2008) reportaron el caso de un paciente de 18 años; admitido al centro asistencial de referencia luego de ingestión de aproximadamente 80 ml de PQT al 25%. Fue asistido a los 40 minutos de la ingesta del herbicida; presentó quemaduras de II grado en hipofaringe y

“Paraquat”

quemaduras en el 80% de la extensión esofágica. Fue tratado con sucralfato, y a los tres días de la internación el paciente presentó dificultad respiratoria moderada. Se realizó en ese momento una radiografía de tórax, que presentó resultados compatibles con Síndrome de Distress Respiratorio del Adulto (SDRA), siendo trasladado a una unidad de cuidados intensivos, sin necesidad de intubación orotraqueal ni de oxígeno suplementario ya que la presión de saturación de oxígeno (PaO₂) permaneció superior a 50 mmHg. Adicionalmente desarrolló falla renal, entrando en tratamiento de hemodiálisis por 5 días, con posterior mejoría progresiva. Evolucionó lentamente hacia la recuperación. La endoscopia digestiva de control mostró resolución de la quemadura esofágica sin secuelas.

Intoxicaciones documentadas a nivel internacional

Viale López (2014), describe los mecanismos y evolución de las intoxicaciones agudas con PQT:

1. Primera etapa: fase gastrointestinal, cuyo principal efecto deletéreo es cáustico, produciendo ulceraciones y vómitos; el desenlace más grave en esta etapa es el enfisema subcutáneo, secundario a perforación esofágica y pancreatitis; lo que provoca dolor abdominal intenso. El desarrollo de esta primera etapa puede ser inmediato o llevar hasta 24 horas;
2. Segunda etapa: fase hepatorenal; los síntomas se manifiestan entre las 24 y las 48 horas subsecuentes a la intoxicación, y se puede objetivar a través de alteraciones en metabolitos hepáticos y renales de funcionamiento y necrosis de ambos órganos; por último,
3. La tercera etapa es la fase pulmonar, principal órgano de choque en este estudio. Las lesiones pulmonares de este tipo se caracterizan por infiltración hemorrágica, de líquidos y de leucocitos en los espacios alveolares; seguida de una rápida proliferación de fibroblastos. En estos casos la muerte sobreviene como consecuencia de un severo deterioro del intercambio gaseoso que produce anoxemia y anoxia tisular. Cuando hay grandes ingestas de PQT, se produce además fallo multiorgánico (incluyendo estado de coma y convulsiones), y los pacientes fallecen en un lapso de entre uno a siete días. En el caso de las intoxicaciones subagudas, el cuadro es más atenuado y los trastornos digestivos y hepáticos son más leves; el cuadro pulmonar puede presentarse sin evolucionar hacia fibrosis. Esta sucesión en el cuadro clínico del paciente con intoxicación aguda por PQT es coincidente también con lo expuesto en INCHEM²; en esta fuente se aclara que los pacientes pueden fallecer

² INCHEM: base de datos colaborativa integrada por organismos internacionales tales como la Organización Mundial de la Salud y la Organización Internacional del Trabajo, entre otras; pone a disposición informes y publicaciones

“Paraquat”

de forma temprana por fallas renales, antes que por fibrosis pulmonar. En este documento, también relacionan la severidad y el desenlace de la clínica de los pacientes con la cantidad de PQT ingerido; e incluyen en ingestas de grandes volúmenes de PQT (> 40 mg/kg/pc o >20 ml en concentraciones 20%-24%) arritmias cardíacas y fallas cardíacas agudas. Además, como resultado secundario de los vómitos que produce la ingesta del PQT, INCHEM plantea que el individuo puede sufrir un desbalance osmótico de los fluidos corporales (hipovolemia, hiperpotasemia o hipopotasemia). Lo expuesto es coincidente con otros estudios referidos a intoxicaciones agudas y subagudas, desarrollados a continuación.

Duang y Wang (2016) estudiaron 146 casos de niños intoxicados con PQT por ingestión, 71/146 < 10 años y 75/146 ≥ 10 años; la ingestión fue accidental en el 90% de los niños menores de 10 años; e intencional en el 61% del segundo grupo. Del total de casos, 34 ingirieron cantidades mayores a 10 ml; y de ellos, 21 fallecieron (62% niñas y 95%, intentos de suicidio). Los investigadores desarrollaron una escala de letalidad con fines pronósticos, utilizando puntajes para evaluar disfunción orgánica, severidad y otros factores asociados a la letalidad por envenenamiento por PQT (la escala incluyó los siguientes factores: cantidad de producto ingerido en ml, lavado gástrico, tiempo transcurrido entre la ingesta y el primer lavado gástrico, hemodiálisis, tiempo transcurrido entre la ingesta y primera sesión de hemodiálisis). Reportaron diferencias en los puntajes entre quienes fallecieron y sobrevivieron para todos indicadores incluidos en el score ($p < 0,01$) siendo los valores obtenidos siempre mayores entre quienes fallecieron.

Elenga et al., (2018) analizaron la evolución de pacientes que habían ingerido PQT en los 3 hospitales de referencia de la Guyana Francesa; 44/62 fueron adultos y 18/62 niños menores de 16 años; el 84% de las intoxicaciones fue intencional. Observaron diferencias en la evolución de los adultos y los menores, en el tiempo de permanencia en la institución, con menor permanencia para niños: promedio 2 días , rango 1-30, en contraposición a 15,5 días promedio, rango 1-24, para adultos ($p < 0,01$); la cantidad de herbicida ingerido: mayores volúmenes ingeridos por adultos: 595,8 mg/kg (rango 6 – 3636,4) mientras que los menores habían ingerido un promedio de 48,8 mg/kg (rango 10 – 571,1); ($p = 0,04$). Al igual que en el trabajo de Duang y Wang (2016), la cantidad ingerida se relacionó con el desenlace: el 65% de los adultos murieron, 22% de los

revisadas por pares a nivel internacional, consolidadas y actualizadas, relacionadas con la seguridad química.
www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim399.htm

“Paraquat”

niños ($p=0,004$); cabe desatacar que el desenlace fue independiente del tratamiento recibido por los pacientes. En el mismo sentido, Oghabian et al., (2020) portaron que el desenlace del paciente se relacionó con el volumen de PQT ingerido; en este último trabajo, dosis mayores a 2250 mg fueron predictoras de mortalidad con un 86,2% de especificidad y un 75,7% de especificidad. Ello coincide con lo expuesto por Viales López (2014), quien detalla que el pronóstico de la intoxicación por PQT se relaciona principalmente con el tiempo transcurrido de la ingesta y con la concentración plasmática del tóxico.

Ramos-Guitierrez et al., (2019), reportan el caso de dos niños (de 3 años, con ingesta accidental; y de 11 años con ingesta intencional por suicidio); la evolución fue similar a lo ya mencionado. El primer paciente presentó vómitos, lesiones causticas en cavidad oral y faringe, quemadura de grado II en esófago, lesión renal aguda con alteraciones electrolíticas. No presentó insuficiencia respiratoria y pudo ser dado de alta sin complicaciones. El segundo paciente también presentó vómitos; y se le dio de alta en la clínica donde lo atendieron las primeras horas post-ingesta en donde se le administró una medicación no especificada. Tres días más tarde fue derivado al hospital de referencia, a donde fue ingresado con vesículas y úlceras sangrantes en el área bucal y faríngea; y con vómitos con hilos de sangre. Desde el momento del ingreso presentó lesión renal; y crépitos en campo pulmonar izquierdo. En el segundo día de hospitalización presentó insuficiencia respiratoria. Nueve días posteriores al ingreso comenzó con datos compatibles con choque séptico; y se le encontró disfunción ventricular derecha e hipertensión pulmonar. Luego de once días, el paciente falleció.

Según un estudio de Bhiro et al., (2016), Guyana tiene una tasa de suicidio ajustada por la edad de 44,2 por 100.000 habitantes; por este motivo, se buscó caracterizar y comprender la problemática del suicidio, a fin de proyectar intervenciones e iniciativas de contención. Con datos provenientes del Ministerio de Salud y del Departamento de Psiquiatría de la Corporación del Hospital Público de Georgetown, se clasificaron las causas de suicidios entre 2010 a 2012. En ese período de tiempo, se registraron 455 muertes; de las cuales el 50% ocurrieron en personas de 20 a 49 años, y 16,6%, en el grupo de 13 a 19 años de edad. La razón de tasas entre hombres y mujeres fue cercana a 4:1. El envenenamiento por plaguicidas fue el método más utilizado, justificando el 79% de los casos. Además, los investigadores estimaron entre 20 y 25 intentos de suicidio por cada suicidio consumado. Los intentos fueron más frecuentes entre mujeres (75%), con una tasa de razón mujeres:hombres de 3:1. Entre los factores de riesgo identificados, la accesibilidad a las sustancias letales uno de los más relevantes, entre ellos plaguicidas,

“Paraquat”

herbicidas y otros químicos (63,7%). PQT es mencionado por los investigadores entre las sustancias con mayor letalidad; alertan acerca del fácil acceso a través de cualquiera de las redes comerciales, su disponibilidad en la mayoría de los hogares, la utilización en muchos casos distinta a la especificada para el producto, y la falta de control por parte del estado, indicando que estos elementos podrían estar explicando, al menos parcialmente, su uso con intenciones suicidios

Kim et al., (2013) estudiaron la asociación entre síntomas de depresión y la exposición ocupacional a plaguicidas en agricultores de sexo masculino de Corea del Sur. Se realizó una encuesta a nivel nacional, que incluyó 1.958 individuos, para evaluar síntomas depresivos y envenenamiento agudo por plaguicidas en el trabajo. El cuestionario implementado constaba de 21 preguntas sobre síntomas experimentados en las 48 horas posteriores a la aplicación de los pesticidas. En base a la severidad, los casos se clasificaron en severos o leves. El 10,4% de los participantes reportaron probable depresión; asimismo, quienes sufrieron envenenamiento por plaguicidas en el trabajo durante el año anterior al estudio demostraron un mayor riesgo de síntomas depresivos (OR=1,61; IC95%: 1,10 a 2,34). Los autores postularon que la mayor gravedad en los síntomas por intoxicación por plaguicidas se asoció a mayores síntomas depresivos. También observaron mayores síntomas de depresión entre quienes debieron realizar consultas médicas, tuvieron más de un episodio de intoxicación o perdieron un mayor número de días en el trabajo por este motivo. Se observó asociación estadísticamente significativa entre herbicidas y síntomas de depresión (OR= 1,96; IC95%: 1,04 a 3,76); y con PQT el OR fue de 2,25 (IC95%: 1,14 a 4,44).

En la plataforma INCHEM se publicó también que, si la exposición aguda con el herbicida ocurre por vía dérmica, luego de varias horas la piel en contacto puede lesionarse. Se pueden observar pérdida de piel por necrosis; y si bien la piel sana actúa como una buena barrera frente a la exposición, si el daño dérmico ocurre por exposición prolongada al PQT puede ocasionar intoxicación sistémica (que puede evolucionar en intoxicación severa o hasta en la muerte). Si la exposición es en los dedos, las uñas pueden resultar con manchas blancas o resquebajarse transversalmente y resultar con pérdida de las mismas. En este caso, el tiempo para observar los efectos de la exposición puede ser lento (varias semanas), ya que el producto trabaja desde el lecho ungueal y el daño se observa con el crecimiento de la uña.

9.2. Relevamiento de estudios epidemiológicos

En el marco de la realización de este informe, se construyó una malla de análisis bibliográfico que detalla los objetivos, la población con la que se trabajó, la metodología utilizada y los principales resultados de la bibliografía incorporada en esta sección, entre otros aspectos de los estudios incluidos.

9.2.1. Evidencia Nacional

Butinof et al., (2019) evaluaron el nivel de exposición a plaguicidas y su correlación con indicadores de salud percibida y biomarcadores de daño (alteraciones genotóxicas y de actividad enzimática de la butirilcolinesterasa), en una muestra de agroaplicadores de cultivos extensivos (ACE) de la Provincia de Córdoba, Argentina. El estudio incluyó 47 casos (seleccionados aleatoriamente de una muestra de 2000 agroaplicadores) y 52 controles, entre quienes se implementó un cuestionario para evaluar exposición laboral a plaguicidas y salud percibida. Además, se realizaron pruebas para detectar indicadores biológicos de genotoxicidad. Entre las personas expuestas a agroquímicos, el 40% desarrollaba esa tarea desde hacía más de 10 años; y el 50% vivía a menos de 500 metros de la zona fumigada. Se observó una presencia significativamente mayor de síntomas generales, cardiorrespiratorios y dermatológicos que en el grupo control, y una tendencia en este sentido en síntomas urinarios, sin alcanzar significación estadística. Los tres indicadores de genotoxicidad utilizados (aberraciones cromosómicas en 100 células, células nucleadas con micronúcleo y ensayo cometa) fueron estadísticamente significativas entre los grupos ($p < 0,01$); siendo todas mayores en el grupo de los agroaplicadores. No se observaron diferencias entre los grupos para los valores de butirilcolinesterasa.

9.2.2 Evidencia Internacional

Se enuncian a continuación los efectos de la exposición a PQT reportados en la literatura, agrupados según tipo de daño y población afectada. Fueron seleccionados algunos trabajos, priorizando aquellos con mayor fortaleza metodológica para la comprensión de la causalidad, en al menos algunas de las dimensiones consideradas. Se categorizaron los trabajos retenidos en la búsqueda según los siguientes criterios: tipo de estudio, tamaño de la muestra, metodología de evaluación de la exposición y de los efectos en salud, explícita control de confusores o

“Paraquat”

potenciales sesgos (siguiendo la propuesta reportada en Muñoz Quesada et al., 2013). Junto a este tercer informe se entrega archivo de Excel con información adicional en algunas de las dimensiones de los estudios.

Sintomatología percibida entre trabajadores agrícolas expuestos a PQT

La US EPA (1997) expuso que existía un riesgo potencial para mezcladores, cargadores, aplicadores y otros manipuladores durante los patrones de uso habituales asociados con PQT. El organismo ha identificado que ocurre exposición a PQT entre manipuladores durante los usos agrícolas y no agrícolas del producto, incluidas la mezcla y la carga, y durante la aplicación con equipos terrestres y aéreos, en particular entre quienes aplican con mochila. Como se expone en algunos de los estudios desarrollados a continuación, también plantean que el uso adecuado de equipo de protección personal (EPP) reduce el riesgo de exposición; sin embargo, en base a datos recolectados de agroaplicadores, los márgenes de exposición son inaceptables aun cuando estén utilizando pantalones largos, camisa de manga larga y guantes adecuados (resistentes a los productos químicos). En contraposición, en la ya citada plataforma colaborativa INCHEM, se publica que hay pocos problemas de salud asociados a la exposición crónica por PQT; entre ellos, sangrado nasal en caso que la persona que está realizando la manipulación del producto huela sus manos contaminadas; u ocasionales dermatitis por agrietamiento o atrofia en el crecimiento de las uñas; no detectaron otras afecciones de salud asociadas a la exposición crónica a PQT.

Para evaluar exposición a PQT en Malasia, Baharuddin et al., (2011) determinaron el riesgo de exposición de PQT y de 2,4-D por inhalación y por contacto dérmico bajo diferentes contextos de aplicación considerando para ello las condiciones meteorológicas, formas de aplicación y niveles de uso de medidas de protección. Para ello realizaron un estudio de casos-control, en el que se incluyeron aleatoriamente 140 agricultores de arroz (casos) y 80 trabajadores que no manipulaban pesticidas (controles). Además de evaluar la exposición por inhalación y por contacto dérmico, los participantes completaron un cuestionario autoadministrado sobre su actividad laboral (tiempo de exposición, tipo de pesticida utilizado, uso de protección personal, entre otros) y se les tomaron muestras de sangre para analizar niveles de enzimas hepáticas (alanina transaminasa y gamma glutamil transpeptidasa). Independientemente del tipo de equipo que utilizaran para realizar la aplicación, ninguno de los trabajadores superó el límite permisible de exposición por inhalación de 0,1 ppm; aunque quienes utilizaron como tecnología de aplicación mochila con motor presentaron mayor concentración promedio que quienes utilizaban mochilas

“Paraquat”

manuales. Además, quienes utilizaban correctamente el equipo de protección personal (EPP) no tuvieron correlación al analizar las condiciones climáticas; y sí lo hicieron quienes no lo utilizaban (o lo hacían de forma incorrecta) cuando se correlacionó con la velocidad del viento ($r= 0,03$; $p=0,01$). Contrariamente, la exposición dérmica fue superior para quienes utilizaban rociadores manuales: en este grupo, la exposición fue moderada a alta; mientras que en quienes utilizaban rociadores motorizados la exposición fue de muy baja a moderada. En este caso, el correcto uso de EPP también disminuyó significativamente la exposición ($p<0,05$). Con respecto a las enzimas hepáticas, las diferencias fueron significativas entre los controles y los casos ($p<0,05$): los valores en el grupo de agroaplicadores superaron lo esperado para ambas enzimas (parámetros normales). Por último, entre los síntomas más frecuentes reportados se observó diferencias entre controles y casos para náuseas, sudoración excesiva, movimientos imprecisos, adormecimientos, enrojecimiento facial y picazón en la piel; y no se observaron diferencias para síntomas asociados a desórdenes neuro-comportamentales.

Asma y alergias respiratorias

Cha et al., (2015) estudiaron la asociación entre la exposición ocupacional de PQT y efectos en la salud respiratoria y la función pulmonar entre los agricultores de Corea del Sur. A través de un cuestionario y de evaluaciones realizadas mediante espirometría, se recolectaron datos de 2882 agroaplicadores; de los cuales 374 no aplicaban PQT. Entre quienes aplicaban PQT, se reportó mayor riesgo de padecer asma, Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica y rinitis alérgica (sin alcanzar significación estadística). Se observaron diferencias en la capacidad pulmonar de los aplicadores de PQT que además eran fumadores, comparado con fumadores que aplicaban otros plaguicidas, medida a través de la Capacidad Vital Forzada (CVF) y el Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF_1). Esta diferencia también se observó para quienes aplicaban PQT y quienes nunca habían fumado. Sin embargo, la media de los valores de espirometría, estuvieron dentro de parámetros normales para ambos grupos. Los antigüedad en la aplicación de PQT (en años) se asoció estadísticamente con la CVF; y ello fue más pronunciado entre los aplicadores varones que entre las mujeres. CVF ($\beta= 5,20$; $p < 0.001$) y VEF_1 ($\beta= 1,89$; $p = 0,010$) disminuyeron significativamente con cada incremento de unidad en años de aplicación del PQT. Además, los agricultores que aplican PQT mostraron una relación significativa entre exposición y

“Paraquat”

respuesta en los defectos ventilatorios restrictivos y los años de aplicación del PQT (p de tendencia= 0,015) o los días de aplicación durante la vida útil (p de tendencia= 0,007).

Diaz Criollo et al., (2019) cuantificando la exposición a PQT a través de muestras de orina. Los participantes reportaron que utilizaban más de 62 plaguicidas diferentes; la evaluación de los niveles de PQT en la orina permitió identificar dos grupos de individuos: no expuestos ($n=147$), y expuestos ($n=70$). Al igual que el estudio anterior, observaron que la exposición crónica a PQT se relacionó levemente con asma (OR=1,06; IC95%: 1 – 1,13).

Henneberger et al., (2013) realizaron un estudio entre agroaplicadores con diagnóstico previo de asma; analizaron la evolución ante eventos críticos de exacerbación de asma (definido como haber visitado una sala de emergencia hospitalaria o consultar con un profesional de salud por un episodio de sibilancias o silbidos en los últimos 12 meses). Este estudio incluyó 926 agroaplicadores con asma de la cohorte del Agricultural Health Study (AHS), de los cuales 202 habían presentado al menos un episodio de exacerbación. Se observó asociaciones inversas con la exacerbación en el caso de dos herbicidas: glifosato, (OR = 0,5, IC95%: 0,3-0,8), y PQT, (OR= 0,3, IC95%: 0,1-0,9) y varias actividades agrícolas (reparación de motores, trituración de metales, conducción de tractores diesel y realización de procedimientos veterinarios). El uso de EPP mostró interacciones significativas con el estado alérgico. Entre los aplicadores con alergias, aquellos con exacerbación eran propensos a reportar el uso de EPP al manipular insecticidas (OR = 1,8; IC95%: 1,1-3,0). El uso de gafas protectoras al manipular plaguicidas también tuvo una interacción significativa con el estado alérgico, pero ninguna de los OR específicos para cada alergia fueron significativos. La asociación de la exacerbación con otras actividades agrícolas no varió según el estado de la alergia.

Koureas et al., (2017) analizaron no solo la asociación entre la rinitis alérgica y la exposición a plaguicidas; si no que además estudiaron la asociación con artritis reumatoidea. En un estudio de tipo caso-control ($n=80$ y $n=90$, respectivamente), a través de cuestionarios autoadministrados y de análisis de muestras de orina, se observó una asociación estadísticamente significativa entre quienes tuvieron exposición laboral y artritis ($p = 0,002$); evidenciando también mayores probabilidades de reportar rinitis alérgica, en comparación con los controles no expuestos (OR: 2,90; IC95%: 1,15-7,29, $p = 0,024$). No se encontraron diferencia estadísticamente significativas entre grupos para las demás condiciones de salud incluidas en el cuestionario. Se realizaron análisis adicionales entre agroaplicadores con y sin reporte de patología. Las personas que

“Paraquat”

reportaron artritis reumatoidea tuvieron valores elevados en los siguientes indicadores de exposición (prevalencia de vida): i) exposición total a plaguicidas ($p = 0,026$); ii) exposición total a insecticidas ($p = 0,036$); iii) exposición total a fungicidas ($p = 0,013$); iv) organofosforados ($p = 0,012$); v) guanidina ($p = 0,06$); y vi) quinonas ($p = 0,024$). Los casos que reportaron rinitis alérgica tuvieron indicadores de exposición más elevados para (prevalencia de vida): i) exposición total a plaguicidas ($p = 0,013$); ii) exposición total a insecticidas ($p = 0,006$); iii) exposición total a herbicidas ($p = 0,018$); iv) organofosforados ($p = 0,014$); v) piretroides ($p = 0,016$) y PQT ($p = 0,013$).

Salud Reproductiva

La mayoría de los trabajos que se enfocan en salud reproductiva estudian efectos asociados a la salud de mujeres; ya sea evaluando el efecto de la exposición en el ciclo menstrual, la gestación y/o las características del producto de la gestación. Los trabajos que abordan la problemática en hombres expuestos a plaguicidas son menos frecuentes. Hossain et al., (2010) analizaron la calidad de semen en granjeros de áreas rurales de Malasia. De 152 participantes, 62 estuvieron expuestos a PQT, malatión, o ambos. Tomaron un muestra de semen e información a través de un cuestionario que indagó el nivel de exposición a plaguicidas y otros riesgos potencialmente asociados a la calidad del mismo. El grupo no expuesto se observó mayor concentración de esperma que en el grupo expuesto. Entre estos últimos, se reportó riesgo significativamente mayor de tener un volumen anormal de semen, y alteraciones el pH, la concentración, la movilidad, la morfología y en el recuento de glóbulos blancos ($p < 0,004$ en todas ellas). Menor volumen de semen (OR= 6,5; IC95%: 2,7 - 15,2); pH anormal (OR= 2,66; IC95%: 0,1 - 0,9); baja concentración de espermatozoides (OR= 8,7; IC95%: 4 - 19); menor motilidad de los espermatozoides (OR= 5,1; IC95%: 2,5 - 10,5), teniendo espermatozoides anormales (OR= 4,9; IC95%: 1,6 - 14,6) y recuento de glóbulos blanco anormal (OR= 4,5; IC95%: 1,5 - 13,4) entre los agricultores expuestos en comparación con el grupo no expuesto. No se observaron diferencias entre los distintos tipos de exposición.

Trakulsrichai et al., (2018) describieron dos casos de intoxicaciones en lactantes expuestos a PQT a través de leche materna. Ambas madres habían ingerido PQT de forma intencional, y habían amamantado a sus hijos varias veces antes de acudir a los centros de salud. En ambos casos, tanto la madre como el lactante presentaron efectos sistémicos asociados a la intoxicación:

“Paraquat”

elevado conteo de leucocitos y funciones renales alteradas. Todos los pacientes presentaron niveles elevados de creatinina, asociados a lesiones agudas en los riñones. Al momento de la hospitalización no se detectaron niveles de PQT en la leche materna. No presentaron efectos pulmonares; y ambos fueron dados de alta. Tal como fue ya mencionado (publicado por otros autores), los niños recibieron el alta antes que las adultas (madres).

Konthonbut et al., (2019) y Takulsrichai et al., (2019) estudiaron la exposición a PQT en mujeres embarazadas, y el desarrollo y características al nacer de sus hijos. El primer grupo de investigadores analizó la exposición al herbicida a través de análisis de orina y de meconios; incluyó a 79 mujeres tailandesas que se atendían en hospitales de áreas agrícolas, enroladas en la 28 semana de la gestación. Las mujeres respondieron cuestionarios que indagaron exposición a plaguicidas al inicio del estudio (semana 28), al momento del parto y luego de dos meses del parto; y se les tomaron muestras de orina. El 71% de las mujeres tenían algún familiar que trabaja en granjas; el 41% eran agricultoras y 54% de ellas vivía a menos de un kilómetro de campos asperjados. Las concentraciones de PQT detectadas en orina no presentaron diferencias significativas en el tiempo; o al compararlas entre quienes realizaban o no tareas agrícolas. El 55% de las muestras de meconio fueron positivas para PQT; con valores promedio mayores para hijos de mujeres que aplicaban o vivían con personas que aplicaban PQT, que vivían a menos de un kilómetro de terrenos cultivados o que tomaban agua de los pozos de las comunidades. En el otro estudio, Takulsrichai et al., (2019) realizaron un seguimiento en 36 pacientes tailandesas que estuvieron expuestas a PQT de forma oral (el 94,4% de forma intencional). El tiempo promedio de gestación al momento de la ingesta fue de $23,1 \pm 9,8$ semanas; se registraron casos en los tres trimestres del embarazo. La mayoría de las mujeres desarrolló problemas gastrointestinales (78%) o efectos corrosivos (61%). Se observaron lesiones agudas de riñón en 33% de los casos, hepatotoxicidad e imágenes anómalas en radiografías de tórax en 11% de los casos. Las pacientes que presentaron toxicidad sistémica tuvieron además complicaciones obstétricas (14%), entre las cuales se pueden mencionar abortos espontáneos, muerte fetal intrauterina, sangrado vaginal anormal y contracciones uterinas. El índice de mortalidad intra-hospitalaria fue del 25%; y se observó principalmente entre quienes presentaron efectos sistémicos. En aquellas mujeres que ingirieron PQT durante el tercer trimestre del embarazo, la tasa de mortalidad de los recién nacidos fue mucho mayor que entre quienes lo hicieron en el primer o segundo trimestre; y los análisis realizados en los recién nacidos fallecidos mostraron altas concentraciones de PQT en sangre y lesiones agudas de riñón.

“Paraquat”

US EPA (1997) postuló que no hallaron estudios que indicaran que sensibilidad adicional en organismos más jóvenes frente a exposición por PQT. Los efectos en el desarrollo fetal se observaron a partir de dosis iguales o mayores a partir de las cuales la madre también se veía afectada.

Enfermedades renales

García (2016) alerta sobre la necesidad de implementar acciones de toxicovigilancia en la subregión de Centroamérica, que aborden la Enfermedad Renal Crónica (ERC) de Causas no Tradicionales (ERCnT), afirmando que es una enfermedad notificada ampliamente en las dos últimas décadas cuya etiología no está relacionada con las causas más frecuentes de la ERC (diabetes mellitus e hipertensión arterial), y que se ha asociado a factores tóxico-ambientales y ocupacionales. Esta autora cita investigaciones e informes técnicos, recopilados en el informe de la 52° Reunión de Consejo Directivo de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS 2013), según los cuales la ERCnT que presenta una frecuencia mayor a la observada en la Región de las Américas y tiene una tendencia creciente en las tasas de incidencia, prevalencia y mortalidad. Asimismo, el informe del segundo taller internacional sobre la temática en Mesoamérica (Wegman et al., 2015), reporta riesgo incrementado de desarrollar ERCnT en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas, entre ellos, Paraquat. Sin embargo, destaca que varios de los estudios analizados fueron de corte transversal, no pudiendo imputarse asociación causal entre la exposición y los efectos incluidos. El informe recomienda realizar estudios prospectivos no sólo en poblaciones de trabajadores agrícolas con exposiciones repetidas, sino también evaluar la exposición ambiental crónica de la población en general, con el fin de lograr una mayor perspectiva de los posibles factores causales de la enfermedad, permitiendo que la comunidad científica tenga una mejor comprensión, y tal vez confirmar o descartar el posible papel de los plaguicidas en la ERCnT.

Los patrones de dosis-respuesta para enfermedad renal terminal (ERT) se estudiaron en una cohorte de más de 55.000 aplicadores de plaguicidas autorizados en los Estados Unidos pertenecientes a la cohorte del AHS, en un trabajo llevado a cabo por Lebov et al. (2015). Los aplicadores hospitalizados por una exposición a plaguicidas presentaron un riesgo elevado para la ERT (OR=3,05; IC95%: 1,67 – 5,58). Además, la ERT estuvo relacionada a la cantidad de veces que se buscó asistencia médica debido a la exposición a plaguicidas (máx. OR= 2,13;

“Paraquat”

IC95%: 1,17 – 3,89, p de tendencia = 0,0384). También se obtuvo un índice de riesgo más alto para los aplicadores expuestos en la categoría de exposición ponderada para la intensidad más alta en comparación con los no usuarios, y se obtuvieron tendencias significativas de exposición-respuesta para atrazina, pendimetalina, alacloro, metolacloro, permetrina. Para PQT, los valores de OR fueron de 2,15 (IC95%: 1,11 – 4,15; p de tendencia = 0,016).

En otra revisión bibliográfica llevada a cabo por Gunatilake et. al., (2019) evaluaron la toxicidad sinérgica de glifosato en combinación con otros plaguicidas como causa de enfermedad crónica de riñón por etiologías desconocidas (por sus siglas en inglés, CKDu: *Chronic Kidney Disease of Unknown Origin*). Estos autores plantean que existe evidencia que a favor de la posible sinergia (especialmente del glifosato con otros plaguicidas como PQT), junto con procesos adversos condiciones ambientales y laborales, como climas cálidos, aumento de las temperaturas y deshidratación entre los trabajadores agrícolas, que puede dar lugar a la enfermedad renal descrita por la CKDu. Los autores consideran que de realizarse estudios adicionales en estos factores trabajando juntos para causar el CKDu, la asociación sería inequívoca.

Disrupción endócrina

Goldner et al., (2010) trabajaron con la cohorte del AHS evaluando la asociación entre la exposición crónica a plaguicidas y enfermedades tiroideas entre las esposas de los agroaplicadores enrolados en el estudio. A través de cuestionarios llevados a cabo entre 1993 a 1997, se evaluó el riesgo de hipotiroidismo e hipertiroidismo entre las participantes del relevamiento (n=16.529). La prevalencia de enfermedad de la tiroides (autoreportadas) y diagnosticada clínicamente fue del 12,5%, y la prevalencia del hipotiroidismo y el hipertiroidismo fue del 6,9% y el 2,1%, respectivamente. En general, no se observó asociación entre las enfermedades tiroideas y el uso de los plaguicidas; excepto para PQT (OR ajustado: 1,8; IC95%: 1,1- 2,8). En el caso de los insecticidas organoclorados, el hipotiroidismo se asoció significativamente con el uso de cualquier insecticida organoclorado (OR justado= 1,2; IC95%: 1,0 – 1,6); en especial para aldrin, clordano, DDT, heptacloro y lindano. El maneb/mancozeb fue el único plaguicida asociado tanto con el hipertiroidismo (OR justado= 2,3; IC95%: 1,2 - 4,4) como con el hipotiroidismo (OR justado= 2,2; IC95%: 1,5 - 3,3).

Enfermedad de Parkinson

Kamel et al., (2014) evaluaron la potencial asociación entre ingesta de grasas en la dieta y la ocurrencia de enfermedad de parkinson (EP); así como el efecto de la exposición a PQT y rotenona en los individuos expuestos. A partir de la cohorte de agroaplicadores participantes en el AHS, se evaluaron 89 casos y 336 controles. Se observó una asociación inversa entre las grasas poliinsaturadas (OR= 0,4; IC95%: 0,2 – 0,8) y con N-3-precursor de ácido linoleico (OR= 0,4; IC95%: 0,2 – 0,8). La asociación entre la enfermedad y la exposición a los plaguicidas se vió afectada por el consumo de grasas: entre los individuos que tenían un consumo de grasas poliinsaturadas menor de la mediana, el OR fue de 4,2 (IC95%: 1,5 – 12); mientras que para quienes tenían un consumo superior, el OR fue de 1,2 (IC95%: 0,4 – 3,4).

Wang et al., (2011) evaluaron la exposición a ziram, maneb y PQT como factores de riesgo para parkinson. Con 362 casos de pacientes con parkinson y 341 controles reclutados entre 2001 a 2007, los investigadores utilizaron modelos de información geográfica para evaluar el ambiente de exposición de la residencia, así como del trabajo de los participantes. El riesgo de ocurrencia de parkinson fue mayor para quienes fueron diagnosticados a una edad más temprana (edad \leq 60); los pacientes de inicio más joven que estuvieron expuestos a una combinación de ziram y paraquat en los lugares de trabajo (OR: 5,98; IC del 95%: 1,95, 18,32) experimentaron un mayor riesgo de EP que cuando estuvieron expuestos en las residencias (OR: 2,78; IC del 95%: 1,10, 7,07). En lugares donde las personas estaban expuestas a los tres plaguicidas, el riesgo se triplicó (OR= 3,09; IC 95%: 1,69 -5,64); y la exposición combinada al ziram y PQT (excluyendo la exposición al maneb), se asoció con un 80% aumento del riesgo (OR= 1,82; IC95%: 1,03 - 3,21). Resultados similares fueron expuestos por Liou et al., (1997), en donde se evaluó la asociación a la exposición a plaguicidas con un mayor riesgo de parkinson, en una relación dosis-respuesta. Al igual que en el trabajo de Wang et al., el riesgo de parkinson fue mayor entre quienes utilizaron PQT y otros plaguicidas; en comparación a quienes no habían utilizado PQT. Los mencionados hallazgos epidemiológicos concuerdan con lo reportado por Viale López (2014).

Furlong et al., (2015) evaluaron la exposición a plaguicidas en agroaplicadores participantes del AHS, analizando si el correcto uso de EPP y la implementación de buenas prácticas de uso modificaban la prevalencia de Parkinson entre los trabajadores de esta cohorte. De 69 casos y 237 controles, los investigadores observaron que el 61% de los encuestados utilizaron sistemáticamente guantes protectores y el 87% usó consistentemente al menos 2 prácticas de

“Paraquat”

higiene. Las prácticas de higiene se asociaron con una reducción de las probabilidades de parkinson; independientemente del ajuste de otros factores (OR= 0,3; IC95%: 0,1, 0,6). El uso de guantes modificó las asociaciones entre PQT y permetrina con el parkinson: ninguno de los dos plaguicidas estuvo asociado con la enfermedad entre los usuarios de guantes protectores, mientras que ambos plaguicidas se asociaron la enfermedad entre los no usuarios (OR_{PQT}= 3,9; IC95%: 1,3 - 11,7; p=0,15. OR_{permetrina}= 4,3; IC95%: 1,2 - 15,6; p=0,05).

En la revisión bibliográfica realizada por Jones et al., (2014) varios de los trabajos reportados en este informe fueron incluidos. En la revisión, los autores plantean que la exposición a PQT como factor de riesgo para la enfermedad de parkinson se ha puesto en evidencia tanto en estudios epidemiológicos como en estudios pre-clínicos. De nueve estudios evaluados, 6 plantearon que la exposición a PQT aumentó el riesgo de parkinson. Además, postularon que en las áreas rurales la prevalencia de parkinson es mayor que en áreas urbanas; y que esto podría estar asociado a una interacción génico-ambiental; argumentan que las personas que viven en áreas rurales tienen mayor probabilidad de beber agua de pozo, que poseen altas concentraciones de hierro; y que la homeostasis del hierro implica muchas proteínas cuya expresión varía ampliamente entre los individuos. En ese caso, el hierro también podría ser un factor importante frente a la toxicidad del PQT, y por lo que sugieren que es necesario evaluar mecanismos críticos desde un punto de vista genético.

La revisión realizada por Vaccari et al., (2019) también encuentra evidencia para plantear una asociación entre la exposición a PQT y el riesgo de EP: los resultados de nueve estudios de tipo caso-control plantearon que la incidencia de parkinson fue un 25% mayor entre quienes estaban expuestos a PQT. También observaron mayor frecuencia de EP con relación al tiempo de exposición y a la exposición conjunta de PQT y otros ditiocarbamatos. Sin embargo, los autores concluyen que si bien la evidencia indicaría una asociación entre las variables; no se puede asumir una relación causa-efecto indiscutible por que la evidencia no es lo suficientemente robusta, sugieren que deberían realizarse nuevas investigaciones al respecto.

En contraposición, Morano et al., (1994) no reportaron asociación entre EP y exposición a plaguicidas. En el mismo sentido, Berry et al., (2010) en la revisión bibliográfica que realizaron, afirman que la información disponible no es concluyente acerca de la asociación entre exposición a PQT y ocurrencia de EP. Al igual que Jones et al., (2014) coinciden en afirmar que es necesario

“Paraquat”

considerar tanto estudios preclínicos como epidemiológicos; aunque los resultados obtenidos en estudios experimentales puedan no ser extrapolables a humanos.

Predictores de evolución clínica

Feng et al., (2018) analizaron el valor máximo de creatinina sérica (maxCr) y la tasa máxima de crecimiento de la creatinina sérica (Vmax) como potenciales predictores de evolución luego de una intoxicación por PQT. El estudio se realizó sobre 171 pacientes, de los cuales fallecieron 118 (69%). No se observaron diferencias en las concentraciones de creatinina sérica al ingreso entre el grupo de fallecidos y el de quienes sobrevivieron ($p=0,127$); aunque el valor promedio fue más elevado en el primer grupo ($65 \mu\text{mol/L}$ [rango 48-100] y $72 \mu\text{mol/L}$ [rango 55,75-105,25] respectivamente). Tampoco se observaron diferencias en la sintomatología presentada entre los dos grupos de pacientes al ingreso. Sin embargo, los valores de Apache II³, Vmax y maxCr sí fueron diferentes (a nivel de significación estadística) y estuvieron asociados a un mayor riesgo de mortalidad. Los valores de Vmax y maxCr se compararon con otros predictores de evolución, como el score Apache II, y se observó que Vmax podía ser un mejor predictor para intoxicaciones agudas de PQT (presentó mejores valores de sensibilidad/especificidad: 76,3% y 81,1%; mientras que para Apache II fueron de 69,5% y 71,7% respectivamente).

Song et al., (2019) realizaron un estudio similar, en una población de niños con intoxicaciones agudas de PQT ($n=110$), para evaluar factores de riesgo de insuficiencia renal aguda (IRA). La mayoría de las intoxicaciones ocurrieron por ingesta accidental (100% de los menores de 6 años, y 64% en mayores de 6 años); 23,6% de los niños fallecieron y 38,2% desarrolló IRA. Entre los niños mayores de 6 años, los vómitos, el dolor abdominal, la hemorragia gastrointestinal, las úlceras orales, la hipoproteïnemia, el aumento del total de glóbulos blancos, el aumento del porcentaje de neutrófilos, la hiponatremia, la hipopotasemia y los niveles elevados de aminotransferasa pirúvica glutámica fueron factores de riesgo para IRA (todos $p<0,05$). Además, las úlceras orales y los niveles elevados de glucosa en la sangre fueron factores de riesgo independientes para IRA inducida por intoxicación con PQT ($p<0,05$; OR=4,223 y 5,545, respectivamente). La tasa de supervivencia de los pacientes fue mayor para quienes tuvieron IRA

³ APACHE (ACUTE PHYSIOLOGY SCORE AND CHRONIC HEALTH EVALUATION) es un sistema de puntuación desarrollado para estimar gravedad y predecir mortalidad hospitalaria.

“Paraquat”

de grado 1 con respecto a quienes tuvieron grado 2; y quienes tuvieron grado 3 de IRA tuvieron las tasas más bajas de supervivencia. Ello coincide con lo expuesto por Viale López (2014), quien plantea que la evolución hacia insuficiencia renal rápida es de mal pronóstico.

Gao et al., (2019), Tang et al., (2018) y Wang et al., (2015) evaluaron predictores de desenlace de mortalidad por intoxicación aguda con PQT en análisis bioquímicos de sangre. El primer equipo de trabajo (Tang et al., 2018), evaluó como los linfocitos y CD4+ y CD8+ se modificaban luego de las intoxicaciones con PQT. Con 95 pacientes que sobrevivieron y 35 que no, observaron que los leucocitos, especialmente los neutrófilos, fueron más altos entre los no sobrevivientes. Sin embargo, lo contrario fue encontrado con linfocitos. El recuento de linfocitos T (CD3) fue consistentemente más alto entre los sobrevivientes, así como los subgrupos CD4+ y CD8+. No se encontraron diferencias en la proporción de CD4/CD8 entre los grupos; y al igual que en estudios anteriores, la supervivencia de los pacientes estuvo relacionada a la cantidad ingerida de PQT. El segundo equipo de trabajo (Tang et al., 2018) evaluaron el conteo completo de glóbulos rojos como predictor. Las comparaciones se realizaron entre 96 pacientes intoxicados con PQT (sub-grupos: sobrevivientes/fallecidos), 90 pacientes intoxicados con organofosforados (sub-grupos: intoxicación moderada/severa) y 188 pacientes sanos que actuaron de control. Al comparar los pacientes intoxicados con PQT y los controles sanos, las diferencias fueron significativas para glóbulos blanco: porcentaje y conteo de neutrófilos, eosinófilos, basófilos, monocitos, linfocitos; ancho de distribución de los glóbulos rojos, plaquetas, volumen medio de plaquetas y ancho de distribución de plaquetas ($p < 0.05$). También se encontraron diferencias entre el grupo de pacientes que fallecieron y entre quienes sobrevivieron. En los pacientes con intoxicaciones, tanto el recuento de glóbulos blancos como el de neutrófilos, fueron los índices más importantes; y ambos mostraron mejores valores de sensibilidad/especificidad que la colinesterasa, por lo que los autores indican que podrían funcionar como mejores predictores. En último grupo que trabajo con análisis de laboratorio fueron Wang et al., (2015), quienes trabajaron con 15 casos y 16 controles para comparar metabolitos en plasma de pacientes con intoxicaciones agudas de PQT. En este caso, los valores de urea, ácido 1h-indol-2-carboxílico, etano, oxima de glucosa, colesterol, ácido 2,5-diacetil-tereftálico y L-fenilalanina se encontraron entre los metabolitos que diferenciaban los grupos de pacientes. Al igual que en los dos equipos anteriores, Wang et al. (2015) concluyen que las vías metabólicas, incluyendo el ciclo de la urea y el metabolismo de los aminoácidos, la glucosa y el colesterol, se vieron afectadas en pacientes

“Paraquat”

con intoxicaciones con PQT y podrían convertirse en nuevos predictores para el diagnóstico de esta clase de intoxicaciones.

Mortalidad

La Organización Panamericana de la Salud a través del Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (SDE) formuló a fines de la década del '90, el Proyecto Aspectos Ocupacionales y Ambientales de la Exposición a Plaguicidas en el Istmo Centroamericano (PLAGSALUD) (Arbeláez y Henao, 2004), en virtud del conocido impacto de las intoxicaciones por plaguicidas de uso agrícola en la salud de las poblaciones americanas. Entre los múltiples resultados alcanzados en este proyecto, los datos epidemiológicos del 2001 evidenciaron que cuatro plaguicidas (paraquat, metomil, carbofurán y terbufós) fueron los causantes del 44,1 % del total de intoxicaciones. El riesgo de ingerir paraquat y morir fue 9,84 veces mayor que con la ingesta de cualquier otro plaguicida.

Waggoner et al., (2012) evaluaron en la cohorte de AHS si la exposición a plaguicidas se relacionaba con la mortalidad por lesiones. Se enlistaron 51.035 agroaplicadores que completaron encuestas en donde se evaluó la exposición y factores relacionados a las prácticas laborales; y las causas de mortalidad se obtuvieron a partir de los registros nacionales de defunción. Se registraron 338 muertes por lesiones, de 727.543 personas/año en el período entre 1993 a 2008. Estas muertes se incrementaron con el índice de días/años de aplicación de pesticidas, con mayor riesgo entre quienes aplicaron plaguicidas más de 60 días al año (OR: 1,87; IC95%: 1,10 – 3,18). El uso de EPP correctamente, en particular guantes resistentes a químicos, se asoció con una disminución en el riesgo (OR: 0,73; IC95%: 0,58 – 0,93). Los herbicidas se asociaron con lesiones fatales, incluso después de ajustar el funcionamiento de la maquinaria agrícola, que se asoció independientemente con lesiones fatales. El uso de 5 de los 18 herbicidas estudiados (2,4,5-T, paraquat, alacloro, metribuzin y butilato) se asoció con un riesgo elevado.

10. Relevamiento de peligros y riesgos en la salud humana y el ambiente

10.1. Relevamiento de estudios sobre análisis de riesgo en la salud humana previamente realizados (Arg. / Int.)

“Paraquat”

Las clasificaciones de riesgos de los agentes químicos que se establecen en los organismos y comités relacionados a las Naciones Unidas, la Organización Mundial de la Salud, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica, organismos de seguridad alimentaria y ambiental de la Unión Europea y otros entes nacionales e internacionales se basan en consensos de expertos sobre el cuerpo de conocimiento acumulado de los 3 componentes principales del riesgo: peligrosidad (P), nivel estimado de exposición agregada (E), y el grado de incertidumbre en el conocimiento de P y E en humanos (I). Principalmente, se evalúan los distintos escenarios de exposición que pudieran ocurrir (agudo/corta-duración; casos especiales de exposición subaguda y subcrónica; crónico, a lo largo de gran parte de la vida del individuo), situaciones específicas de susceptibilidad (especialmente, toxicidad incrementada en fetos y niños pequeños), y la variabilidad del riesgo en función de la ruta de ingreso del agente tóxico al cuerpo. Los estudios que permiten identificar los tejidos/órganos susceptibles, describir los modos de acción y caracterizar la peligrosidad se realizan en animales de laboratorio, en general, rata, ratón, conejo y perro. Los estudios de exposición toman muestras de distinta naturaleza: matrices ambientales, alimentos, matrices biológicas (organismos; partes de órganos/tejidos), ambiente ocupacional. El desarrollo de un modelo conceptual que identifique los pasos críticos en la exposición a los agentes tóxicos de interés y sus productos de descomposición biótica o abiótica (aquellos que posean relevancia toxicológica) permiten reconocer si es necesario generar nueva información técnica-científica o si la existente es suficiente para elaborar una conclusión/decisión (riesgo aceptable *versus* riesgo excesivo). Finalmente, el relevamiento permanente (toxicovigilancia) de episodios de intoxicación aguda, patología/morbilidad sospechada de asociación a residuos de origen antropogénico, y la contaminación ambiental en general permite reconocer i) si las decisiones regulatorias son eficaces para asegurar la inocuidad de los productos autorizados para su consumo, y ii) optimizar/priorizar los esfuerzos en los casos donde se presenten situaciones a resolver. De lo antedicho surge que el análisis de los estudios en animales no debe ser lo único considerado a la hora de concluir si un nivel de exposición es “seguro” o “nocivo”, y si un riesgo es aceptable o inaceptable.

El grupo de trabajo que participa de este informe considera que existen elementos argumentativos para respaldar o rechazar la suficiencia de datos para tomar una decisión sobre la inocuidad de un determinado nivel de exposición a sustancias tóxicas (en este caso, plaguicidas). Se debe tender a procesos de decisión que se apoyen en (y completen luego de) la comprobación de que:

“Paraquat”

- se ha elaborado el modelo conceptual correspondiente para caminos de exposición, descomposición e identificación de posibles organismos susceptibles,
- existen sistemas eficaces de monitoreo humano y ambiental de la exposición,
- existen repositorios de datos y análisis de información ambiental, toxicoepidemiológica y socioambiental relevante (intoxicaciones agudas y enfermedades crónicas),
- existe georeferenciamiento permanente de los episodios de exposición y los casos de morbilidad,
- existen sistemas educativos, de capacitación técnica, de certificación (y recertificación) de experticia que llegan apropiadamente a los formuladores, aplicadores, transportistas, y otros sectores involucrados en el uso racional de plaguicidas
- existen sistemas eficaces de atenuación de los riesgos ocupacionales, especialmente la disponibilidad y suficiencia de los equipos de protección personal para los aplicadores y otros ámbitos del trabajo asociados a las aplicaciones agrícolas o urbanas

A continuación se presenta una síntesis de los argumentos de autoridades regulatorias internacionales que respaldan la clasificación de peligrosidad y los niveles guías para el riesgo de toxicidad en humanos por exposición a los herbicidas evaluados en este informe. Como fuera anticipado, en el caso de la peligrosidad para la salud humana, estos argumentos se basan principalmente en los resultados de los estudios (sólo aquellos considerados válidos según los criterios de elegibilidad establecidos) en animales bajo unas pocas condiciones controladas de laboratorio a partir de las cuales se extrapola a todos los escenarios posibles de exposición y efecto. Finalmente se identifican y consideran los factores locales (Argentina) que pudieran influir en la consideración de los niveles máximos seguros para los mismos en las poblaciones más vulnerables.

Los criterios de clasificación de riesgos y peligros tienen en cuenta diversos aspectos de la toxicidad, la exposición y las características de la fabricación, población usuaria, uso, acopio, transporte y descarte. Esto implica que puede haber instituciones que asignen categorías de peligrosidad y riesgo distinto a otras. Por ejemplo, a nivel de seguridad en el ámbito laboral, la *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, USA) establece las siguientes grillas de clasificación en función de la vía de ingreso y el rango de DL50 en animales de laboratorio:

“Paraquat”

Sistema de Categorización de Peligrosidad de OSHA (2016)

Letalidad luego de exposición oral y dermal

Classification Criteria	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4
Oral LD ₅₀	≤ 5 mg/kg bodyweight	>5 and ≤ 50 mg/kg bodyweight	>50 and ≤ 300 mg/kg bodyweight	>300 and ≤ 2000 mg/kg bodyweight

Classification Criteria	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4
Dermal LD ₅₀	≤ 50 mg/kg bodyweight	>50 and ≤ 200 mg/kg bodyweight	>200 and ≤ 1000 mg/kg bodyweight	>1000 and ≤ 2000 mg/kg bodyweight

Letalidad luego de ingreso por via inhalatoria

Panel superior: Gases: sustancias que se presentan primariamente como gases a 20°C.

Panel inferior: Vapores: sustancias que se presentan parcialmente como un vapor liberado de la fase líquida o sólida de la misma sustancia. Para las sustancias, para el fin regulatorio deseado, se presentan principalmente en la fase gaseosa, se usa el criterio del panel superior.

Las dosis de corte (cut-off) tienen como unidad ppm en aire, o mg/L_{aire}

Classification Criteria	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4
Inhalation LC ₅₀ (4-hr.)	≤ 100 ppmV	>100 and ≤ 500 ppmV	>500 and ≤ 2500 ppmV	>2500 and ≤ 20000 ppmV

Classification Criteria	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4
Inhalation LC ₅₀ (4-hr.)	≤ 0.5 mg/L	>0.5 and ≤ 2.0 mg/L	>2.0 and ≤ 10.0 mg/L	>10.0 and ≤ 20.0 mg/L

(LC50 refiere en este caso a concentración en aire y conteo de muertes entre 0 y 4 h post-dosificación)

“Paraquat”

Letalidad luego de Inhalación de Polvo/Aerosoles/Nieblas

Polvo: partículas* sólidas suspendidas en un gas simple o una mezcla de gases (en general, aire).

Aerosol/Niebla: microgotas* líquidas de una sustancia o mezcla de sustancias suspendidas en un gas o mezcla de gases (en general, aire). Esta forma generalmente se genera por condensación de vapores saturados o dispositivos tecnológicos específicos.

*Tanto la materia pulverizada como las microgotas tienen tamaños entre <1 y 100 μm .

Las dosis de corte (cut-off) tienen como unidad $\text{mg}/\text{L}_{\text{aire}}$

Classification Criteria	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4
Inhalation LC ₅₀ (4-hr.)	≤ 0.05 mg/L	>0.05 and ≤ 0.5 mg/L	>0.5 and ≤ 1.0 mg/L	>1.0 and ≤ 5.0 mg/L

Por lo tanto, la clasificación regulatoria de un producto químico (en este caso herbicidas formulados con paraquat) para una población usuaria determinada bajo condiciones particulares de exposición no debe ser directamente extrapolada a otros grupos de usuarios “receptores” de la exposición bajo otras condiciones de susceptibilidad que se presenten en otros ámbitos de contacto directo o indirecto con dicho producto o productos similares.

En el caso de este informe técnico-científico sobre paraquat, primero se presenta la base de conocimiento toxicológico, la cual se encuentra completa o incompleta según el aspecto considerado. Algunos estudios de los efectos adversos de paraquat en mamíferos presentan interpretaciones o conclusiones contradictorias, por lo cual para este herbicida abajo se presentan los documentos ejecutivos de comités de expertos y también una síntesis extendida de los trabajos reportados en literatura abierta más relevantes a los puntos aún en debate (toxicocinética y toxicodinamia) sobre su toxicidad aguda (principalmente extrapolable a casos de etiología accidental e intentos de suicidio, y en menor medida episodios graves a nivel ocupacional), y sobre su posible relación etiológica a procesos neurodegenerativos del tipo Parkinson (principalmente en casos de exposición ocupacional o ambiental prolongada).

Finalmente, se resume la clasificación toxicológica según lo establecieron los comités de expertos convocados por varios organismos internacionales (principalmente USEPA y Unión Europea).

“Paraquat”

10.2. Relevamiento de estudios sobre análisis de riesgo ecotoxicológico previamente realizados (Arg. / Int.)

A nivel internacional, en su evaluación de 1997, la USEPA concluye que el uso de paraquat puede representar un riesgo para las plantas terrestres y semi acuáticas en aplicaciones terrestres a dosis altas, y en aplicaciones aéreas a dosis intermedias y altas (USEPA, 1997). Como el paraquat se une fuertemente con las partículas del suelo, el riesgo para las plantas terrestres, semi-acuáticas y acuáticas es posible únicamente como resultado de la deriva de plaguicidas y no como consecuencia de un escurrimiento (USEPA, 1997).

A pesar de utilizar valores de LD50 superiores, la evaluación de la USEPA concluye que existe un riesgo de toxicidad aguda para las aves a las dosis superiores de aplicación, el cual ocurriría principalmente luego de la aplicación, antes de que la solución de paraquat se seque (USEPA, 1997).

En cuanto a la toxicidad crónica, ambos territorios (USA y Europa) consideran que la alimentación debe contener más de 30 mg de paraquat por kg de alimento para observar efectos sobre la reproducción; o sea que la NOEC para reproducción es de 30 ppm. Este valor se basa en un ensayo realizado con el pato *Anas platyrhynchos* (USEPA, 1997; European Commission, 2003). En cuanto a riesgo para aves, aunque los cocientes de riesgo crónico y de efecto sobre la reproducción calculados por la USEPA indicarían la presencia de riesgo a las dosis superiores de aplicación, este ente regulatorio descarta la posibilidad de un riesgo crónico basado en la ingestión alimentaria, debido a que considera que el paraquat se inactiva una vez que se seca la solución (USEPA, 1997).

Sin embargo, como los estadios embrionarios de aves son especialmente sensibles al paraquat tanto la Unión Europea que la USEPA considera que el principal riesgo para las aves sería una aplicación directa de paraquat sobre los huevos; lo que significa que las aves que nidifican en el suelo serían las que tienen más riesgo de sufrir efectos sobre la reproducción (USEPA, 1997; European Commission, 2003).

La US EPA (USA) clasifica la toxicidad aguda de paraquat entre peligrosidad moderada a muy alta. Los Estados Unidos de Norteamérica es uno de los países que lideran la lista de países agroproductores y que aún mantiene varios usos autorizados de paraquat. US EPA publica a intervalos regulares reconsideraciones del análisis de riesgo, si bien en una proporción mayor del mundo este herbicida ya ha sido totalmente prohibido o sólo mantiene unos pocos usos restringidos (Donley, 2019). En una consideración reciente de USEPA, los niveles de peligro (toxicidad aguda) para dicloruro de paraquat se resumieron de la siguiente forma:

“Paraquat”

Efecto	Especie	Resultado del ensayo DL50 (mg/kg) LC50 _{inhalación} (ug/L)	Categoría Asignada	Comunicación de la capacidad de daño
Letalidad oral	Rata	189 (machos) 125 (hembras)	II	Ingesta puede ser fatal
Letalidad dermal	Conejo	174 (machos)	I	Fatal si entra en contacto con la piel
Letalidad inhalatoria	Rata	1 ug/L	I	Fatal si es inhalado
Irritación Ocular	Conejo	Positivo; irritación severa	I	Corrosivo. Causa daño irreversible en contacto con el ojo
Irritación Dermal	Conejo	Positivo; irritación leve a severa	N/A	Puede causar irritaciones leves a graves en contacto con la piel
Sensibilización de Piel	Cerdo	Negativo	No corresponde categorización	

Extraído de: USEPA (2016). Paraquat dichloride. Proposed Interim Mitigation Decision. March 2nd 2016. EPA-HQ-OPP-2011-0855-0031. Los criterios de clasificación de peligrosidad que utiliza la USEPA se pueden ver en: *USEPA (2015). Hazard Categorization Criteria: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/ghscriteria-summary.pdf>*

La Unión Europea tiene sus propios comités de expertos que a intervalos regulares reconsideran la literatura publicada, valida/excluye documentos según los criterios acordados en cada caso, y con los documentos técnicos y científicos aceptables se elaboran recomendaciones para que las autoridades regulatorias decidan si los riesgos de la fabricación, uso, transporte y descarte son aceptables, o si se deben articular modificaciones en la gobernanza, o acciones de índole reglamentaria y/o legislativa. A continuación se muestra una síntesis de la clasificación del impacto relativo de paraquat en la salud humana y ambiental.

10.3. Efectos sinérgicos con otras sustancias de uso frecuente. Relevamiento de evaluaciones de Riesgo de las mezclas (En preparación)

“Paraquat”

11. Marcos reglamentarios vigentes (Arg. / Int.)

11.1. Niveles de referencia nacionales e internacionales propuestos para la protección de la salud humana y de la biota acuática.

Resumen de los efectos críticos y los niveles guía de peligro reportados

Especialistas convocados por FAO/WHO, 2003

<i>Levels relevant to risk assessment</i>				
Species	Study	Effect	NOAEL ^a	LOAEL ^a
Mouse	13-week study	Toxicity	100 ppm, equal to 8.33 mg ion/kg bw per day	300 ppm, equal to 25.9 mg ion/kg bw per day
	97-99-week study	Toxicity	12.5 ppm, equivalent to 1.88 mg ion/kg bw per day	37.5 ppm, equivalent to 5.62 mg ion/kg bw per day
		Carcinogenicity	100 ppm equivalent to 15.0 mg ion/kg bw per day ^b	-
	Study of developmental toxicity	Maternal toxicity	10 mg/kg bw per day ^b	-
		Embryo- and fetotoxicity	10 mg/kg bw per day ^b	-
Rat	13-week study	Toxicity	100 ppm, equal to 4.74 mg/kg bw per day	300 ppm, equal to 14.2 mg/kg bw per day
	104-week study	Toxicity	30 ppm, equal to 0.77 mg/kg bw per day	100 ppm, equal to 2.55 mg/kg bw per day
		Carcinogenicity	300 ppm, equal to 7.67 mg ion/kg bw per day ^b	-
	Multigeneration study of reproductive toxicity	Parental toxicity	25 ppm, equivalent to 1.67 mg/kg bw per day	75 ppm, equivalent to 5.0 mg/kg bw per day
		Pup toxicity	75 ppm, equivalent to 5.0 mg/kg bw per day	150 ppm, equivalent to 10.0 mg/kg bw per day
	Study of developmental toxicity	Maternal toxicity	1 mg/kg bw per day	5 mg/kg bw per day
		Embryo- and fetotoxicity	1 mg/kg bw per day	5 mg/kg bw per day
Dog	13-week study	Toxicity	20 ppm, equal to 0.55 mg/kg bw per day	60 ppm, equal to 1.75 mg/kg bw per day
	1-year	Toxicity	15 ppm, equal to 0.45 mg/kg bw per day	30 ppm, equal to 0.93 mg/kg bw per day

^a Dietary concentrations are expressed as dichloride or ion as in the study report; intakes and doses are expressed as paraquat ion

^b Highest dose tested

“Paraquat”

Especialistas convocados por USEPA, 2019

Impacto evaluado	Pureza del Paraquat	Estimador de Peligro	Nivel Guia	Categoría de Toxicidad
Toxicidad Aguda Oral	33%	LD50 (rata)	Muestra grado técnico, 283-344 mg/kg** <i>en equivalentes ion-PQT según pureza, 93-114 mg/kg</i>	II
Toxicidad Aguda Dermal	33%	LD50 (rata)	>2000 mg/kg	III
Toxicidad Aguda Inhalatoria	Preparación cristalina	LC50 (rata)	1 ug/L	I
Irritación Ocular	33%	Indice de impacto relativo (conejo)	N/A	II (irritabilidad moderada a severa)
Irritación Dermal	33%	Indice de impacto relativo (conejo)	N/A	IV (irritación mínima)
Sensibilización de la Piel	33%	N/A	N/A	Negativo No corresponde categorización

“Paraquat”

Impacto evaluado	Pureza del Paraquat	Estimador de Peligro	Nivel Guia
Toxicidad Crónica Oral (dieta; 13 semanas)	32,2%	NOAEL (perro)	0,5 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL (perro)	1,5 mg ion-PQ/kg/día
		Dosis máxima tolerada	3 mg ion-PQ/kg/día
Toxicidad Crónica Oral (dieta; 52 semanas)	32,2%	NOAEL (perro)	0,45-0,48 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL (perro)	0,9-1 mg ion-PQ/kg/día
		Dosis máxima tolerada	3 mg ion-PQ/kg/día
Toxicidad Sistémica Dermal (21 días)	43,5%	NOAEL (conejo)	6 mg ion-PQ/kg/día
Toxicidad Local Dermal (21 días)		NOAEL (conejo)	1,15 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL (conejo)	2,6 mg ion-PQ/kg/día
Toxicidad Inhalatoria (21 días, 6 h x día, 5 días x semana)	40%	NOAEC (rata)	0,01 ug ion-PQ/L
		LOAEC (rata)	0,10 ug ion-PQ/L
		Mortalidad (rata)	Dosis letal: 3 ug ion-PQ/L
Toxicidad Fetal (desarrollo) (días G6** a G15 de gestación; intubación oral de la madre) <i>**el NOAEL maternal y fetal se observo en 8 mg ion-PQ/kg/día cuando la exposicion se hizo en G7-G16</i>	38%	NOAEL maternal (rata)	1 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL maternal (rata)	5 mg ion-PQ/kg/día
		NOAEL, desarrollo fetal	1 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL, desarrollo fetal	5 mg ion-PQ/kg/día
Toxicidad Reproductiva y Fertilidad (exposición repetida)	32,7%	NOAEL parental (rata)	1,25 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL maternal (rata)	3,75 mg ion-PQ/kg/día
		NOAEL, desarrollo crías	7,5 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL, desarrollo crías	No establecido (>7,5 mg ion-PQ/kg/día)
		NOAEL reproducción	7,5 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL reproducción	No establecido (>7,5 mg ion-PQ/kg/día)
Toxicidad Sistémica y Fertilidad (exposición repetida)	nr	NOAEL testículo, esperma	dosis peri-umbral = 0,5 mg ion-PQ/kg/día = LOAEL? (mínima dosis examinada)

“Paraquat”

subcrónica) (rata, solo machos; intubación oral; 8 semanas)		LOAEL testículo, esperma	efectos adversos claros en ≥ 2 mg ion-PQ/kg/día en varios aspectos de calidad espermática y la integridad testicular
Toxicidad Sistémica Neurotoxicidad Aguda (batería de medidas específicas) (rata; intubación oral; vehículo: agua desionizada)	33,4-46,1%	NOAEL efectos sistémicos varios	25,1 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL efectos sistémicos varios	84 mg ion-PQ/kg/día
		NOAEL, neurotoxicidad	84 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL, neurotoxicidad	No establecido (>84 mg ion-PQ/kg/día)
Toxicidad Oral Subcrónica Neurotoxicidad (rata; dieta; 13 semanas de exposición)	33,4-46,1%	NOAEL, neurotoxicidad	10-12 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL, neurotoxicidad	No establecido Ninguna evidencia de neurotoxicidad hasta la dosis máxima examinada (12 mg ion-PQ/kg/día)
Toxicidad Oral Subaguda Inmunotoxicidad (ratón, sólo hembras; dieta; 28 días de exposición)	99,9%	NOAEL, inmunotoxicidad y otros efectos	27,3 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL, inmunotoxicidad y otros efectos	No establecido Ninguna evidencia de inmunotoxicidad hasta la dosis máxima examinada (27,3 mg ion-PQ/kg/día)
Toxicidad Crónica Sistémica y Carcinogenicidad (dieta; 99 semanas de exposición)	33-45%	NOAEL efectos sistémicos varios (ratón)	1,9 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL efectos sistémicos varios (ratón)	5,6 mg ion-PQ/kg/día
		NOAEL/LOAEL tumores/cáncer	No establecido (sin evidencia de aumento de frecuencia de tumores dentro del rango de dosis examinado)
Toxicidad Crónica Sistémica y Carcinogenicidad (dieta; 104 semanas de exposición)	% ??	NOAEL efectos sistémicos varios (ratón)	4,5 mg ion-PQ/kg/día
		LOAEL efectos sistémicos varios (ratón)	15 mg ion-PQ/kg/día
		NOAEL/LOAEL tumores/cáncer	No establecido (sin evidencia de aumento de frecuencia de

“Paraquat”

			tumores dentro del rango de dosis examinado)
Mutagenicidad (varios ensayos)	≥99%	N/A	Ninguna evidencia de mutagenicidad hasta concentraciones citotóxicas
Genotoxicidad - Hallazgos Citogenéticos (varios ensayos)	33-99%	N/A	Ninguna evidencia de genotoxicidad hasta concentraciones citotóxicas. Aberraciones cromosómicas y otros hallazgos al evaluar concentraciones citotóxicas
Genotoxicidad - Hallazgos Citogenéticos (in vitro; fibroblastos de pulmón de hamster chino)	99,4%	N/A	Resultado positivo en ensayo de intercambio de cromátidas hermanas; relación concentración-respuesta en presencia o ausencia de preparación S9 de enzimas metabólicas

11.2. Acuerdos de restricción y/o prohibición *(En preparación)*

11.3. Otra información de relevancia como: países que no aceptan residuos de las sustancias propuestas. Estados de uso y prohibición en el mundo: Comunidad Económica Europea, EEUU, países asiáticos, otros (LMR de países compradores). *(En preparación)*

La Unión Europea no ha regulado los niveles de estos compuestos en el agua potable y continúa aplicando los valores de 0.1 g l⁻¹ para plaguicidas individuales y 0.5 g l⁻¹ para plaguicidas totales. Este herbicida está prohibido en la Unión Europea desde 2007 y su uso por agricultores autorizados está restringido en los EE. UU

12- BIBLIOGRAFÍA

- Apresid-REM. (2017) Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. Red de Manejo de Plagas. En malezas, el tamaño sí importa. Comunidad Noticias, Novedades, 1-5.
- Alexander, M., 1999. Biodegradation and Bioremediation, 2nd Edn. New York, NY: Academic Press, 453.
- Altamirano J.E.; Franco R.; Bovi Mitre M.G. (2004) Modelo epidemiológico para el diagnóstico de intoxicación aguda por plaguicidas. Revista de Toxicología [en línea]. 21(2):98-102 Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91921307>

“Paraquat”

- Amondham, W., P. Parkpian, C. Polprasert, R. D. DeLaune, and A. Jugsujinda. 2006. “Paraquat Adsorption, Degradation, and Remobilization in Tropical Soils of Thailand.” *Journal of Environmental Science and Health - Part B* 41 (5): 485–507.
- Arbeláez M.P., Henao S. (2004) Vigilancia Sanitaria de Plaguicidas: Experiencia de PLAGSALUD en Centroamérica. Organización Panamericana de la Salud [en línea] Washington, D.C. Disponible en: http://cidbimena.desastres.hn/filemgmt/files/RA_VigilanciaSanitaria.pdf
- Ayanda, O. I., S. J. Oniye, J. A. Auta, V. O. Ajibola, and O. A. Bello.(2015) Responses of the African Catfish *Clarias gariepinus* to Long-Term Exposure to Glyphosate- and Paraquat-Based Herbicides. *African Journal of Aquatic Science* 40 (3): 261–267. doi:10.2989/16085914.2015.1074882.
- Baharuddin, M. R. B., Sahid, I. B., Noor, M. A. B. M., Sulaiman, N., & Othman, F. (2011). Pesticide risk assessment: A study on inhalation and dermal exposure to 2,4-D and paraquat among Malaysian paddy farmers. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 46(7), 600–607. <https://doi.org/10.1080/03601234.2011.589309>
- Bai, G. X., Xu, G. S., Li, J., Gu, J. W., 2014. Optimization of culture conditions for paraquat degradation by *lipomyces starkeyi*. *Ind. Microbiol.* 44, 47–50.
- Baldwin, B.C.; Bray, M.F.; Geoghegan, M.J., 1966. The microbial decomposition of paraquat. *Biochem. J.*, 101, 15P.
- Bartlett, R.M., J.E. Holden, R.J. Nickles, y col. (2009). Paraquat is excluded by the blood brain barrier in rhesus macaque: An in vivo study. *Brain Research* 1259: 74–9.
- Berry, C., C. La Vecchia, P. Nicotera (2010). Paraquat and Parkinson’s disease. *Cell Death and Differentiation* 17: 1115–25.
- Berry, C., La Vecchia, C., Nicoretta P. (2010). Paraquat and Parkinson’s disease. *Cell Death and Differentiation*; 17, 1115–1125. <https://doi.org/10.1038/cdd.2009.217>
- Bidleman TF; *Environ Sci Technol* 22: 361-367 (1988)
- Brown, R.; Clapp, M.; Dyson, J; Scott D.; Wheals, I.; Wilks, M. (2004) Paraquat in perspective. *Outlooks on Pest Management* , December 2004: 259-267
- Burns, R.G., and Audus, L.J. (1970). Distribution and breakdown of Paraquat in soil. *Weed. Res.* 10: 49–58.
- Bus, J.S., S.D. Aust, J.E. Gibson (1976). Paraquat toxicity: proposed mechanism of action involving lipid peroxidation. *Environ. Health Persp.* 16: 139-46.
- Butinof M.; Fernandez R.A.; Stimolo M.I.; Lantieri M.J.; Blanco M.; Machado A.L.; Franchini G.; Díaz M.P. (2015) Pesticide exposure and health conditions of terrestrial pesticide applicators in Córdoba Province, Argentina. *Cad. Saúde Pública*, 31(3):633-646.
- Butinof, M., Fernández, R. A., Lerda, D., Lantieri, M. J., Filippi, I., & Díaz, M. del P. (2019). Biomonitoring in exposure to pesticides, its contribution to epidemiological surveillance of pesticide applicators in Cordoba, Argentina. *Gaceta Sanitaria*, 33(3), 216–221. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2017.12.002>
- Calderbank A, Slade P; pp. 501-40 in *Herbicides Vol 2*. Kearney PC, Kaufman DD, NY: Marcel Dekker (1976)
- Camachomoraes, R.L., Gerardogerardo, J.L., Karina, G.N., José, E.S., 2017a. Ligninolytic enzyme production by white rot fungi during paraquat (herbicide) degradation. *Rev. Argent. Microbiol.* 49, 189–196.
- Camachomoraes, R.L., Karina, G.N., José, E.S., 2017b. Degradation of the herbicide paraquat by macromycetes isolated from southeastern Mexico. *3 Biotech* 7, 324–334.
- Carlile, B. 2006. *Pesticide Selectivity, Health and the Environment*. Cambridge: Cambridge University Press.

“Paraquat”

- Carr, R.J., Bilton, R.F., Atkinson, T., 1985. “Mechanism of Biodegradation of Paraquat by *Lipomyces Starkeyi*.” *Applied and Environmental Microbiology* 49 (5): 1290–1294.
- Casadinho, Sousa, J. (2019) Informe sobre los plaguicidas altamente peligrosos en la Argentina. RapAI-IPEN. Disponible en <http://huerquen.com.ar/wp-content/uploads/2019/06/Informe-RAPAL-Mar2019.pdf>
- CASAFE, Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (2019). Guía online de productos fitosanitarios. Disponible en https://guiaonline.casafe.org/index.php/ms_session_manager
- Cha, E. S., Lee, Y. K., Moon, E. K., Kim, Y. B., Lee, Y. J., Jeong, W. C., Cho, E. Y., Lee, I. J., Hur, J., Ha, M., & Lee, W. J. (2012). Paraquat application and respiratory health effects among South Korean farmers. *Occupational and Environmental Medicine*, 69(6), 398–403. <https://doi.org/10.1136/oemed-2011-100244>
- Chu, Y.C., G. Poons, F. Law (1988). Toxicokinetics and bioavailability of paraquat in rats following different routes of administration. *Toxicol. Ind. Health* 4 (2): 203-19.
- Cicchetti, F., Nicolas Lapointe, Antoine Roberge-Tremblay, y col. (2005). Systemic exposure to paraquat and maneb models early Parkinson’s disease in young adult rats. *Neurobiology of Disease* 20: 360 – 371.
- Coats, G.E.; Funderburk, H.H.; Lawrence, J.M.; Davis, D.E., 1964. Persistence of diquat and paraquat in pools and ponds. *Proc. Southern Weed Conf.*, 17, 308-315.
- Cope OB; *J Appl Ecol* 3(Suppl): 33-44 (1966)
- Cousin, M., Silva-Zacarin, E., Kretzschmar, A., El Maataoui, M. Brunet, J.-L., Belzunces, L.P. 2003. Size Changes in Honey Bee Larvae Oenocytes Induced by Exposure to Paraquat at Very Low Concentrations. *PLOS ONE*, 2013. 8(5): p. e65693. 29.
- Dawson, A.H., Eddleston, M., Senarathna, L., y col. (2010) Acute Human Lethal Toxicity of Agricultural Pesticides: A Prospective Cohort Study. *PLoS Med.* 7(10): e1000357. doi:10.1371/journal.pmed.1000357
- de Silva CD, and Ranasinghe J, (1995) Toxicity of four commonly used agrochemicals on *Oreochromis niloticus* (L.), *Asian Fish Science* 2, 135.
- Di Marzio, W.D.; Tortorelli, M.C. (1993). Acute toxicity of paraquat and no-inhibitory chronic effect on brain acetylcholinesterase activity of freshwater fish *Bryconamericus iheringii* (Pisces, Characidae), *Journal of Environmental Science and Health*, 28, 701-709.
- Di Marzio, W.D.; Tortorelli, M.C. (1994) Effects of paraquat on survival and total cholinesterase activity in fry of *Cnesterodon decemmaculatus* (Pisces, Poeciliidae). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 52, 274–278.
- Díaz-Criollo, S., Palma, M., Monroy-García, A. A., Idrovo, A. J., Combariza, D., & Varona-Uribe, M. E. (2020). Chronic pesticide mixture exposure including paraquat and respiratory outcomes among colombian farmers. *Industrial Health*, 58(1), 15–21. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2018-0111>
- Dinis-Oliveira, R. J., J. A. Duarte, A. Sanchez-Navarro, F. Remiao, M. L. Bastos, and F. Carvalho. 2008. “Paraquat Poisonings: Mechanisms of Lung Toxicity, Clinical Features, and Treatment.” *Critical Reviews in Toxicology* 38: 13–71.
- Dinis-Oliveira, R.J., Duarte, J.A., Sánchez-Navarro, A., Remião, F., Carvalho, F., 2008. Paraquat poisonings: mechanisms of lung toxicity, clinical features, and treatment. *Crit. Rev. Toxicol.* 38, 13–71.
- Dinis-Oliveira, R.J., F. Remiao, H. Carmo, J.A. Duarte, y col. (2006). Paraquat exposure as an etiological factor of Parkinson’s disease. *NeuroToxicology* 27: 1110–22.
- Dinis-Oliveira, R.J., J.A. Duarte, A. Sanchez Navarro, y col. (2008). Paraquat Poisonings: Mechanisms of Lung Toxicity, Clinical Features, and Treatment. *Crit. Rev. Toxicol.* 38: 13–71.

“Paraquat”

- Donley, N. (2019). The USA lags behind other agricultural nations in banning harmful pesticides. *Environ Health* 18, 44. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0488-0>
- Duan, Y. Y., & Wang, Z. (2016). To explore the characteristics of fatality in children poisoned by paraquat – with analysis of 146 cases. *International Journal of Artificial Organs*, 39(2), 51–55. <https://doi.org/10.5301/ijao.5000471>
- Dyson, J.S., 1997. Ecological safety of paraquat with particular reference to soil. *Planter*, 73, 467-478.
- Earnest, R. D. (1971) The Effect of Paraquat on Fish in a Colorado Farm Pond. *The Progressive Fish-Culturist* 33 (1): 27–31.
- Elenga, N., Merlin, C., Le Guern, R., Kom-Tchameni, R., Ducrot, Y. M., Pradier, M., Ntab, B., Dinh-Van, K. A., Sobesky, M., Mathieu, D., Dueymes, J. M., Egmann, G., Kallel, H., & Mathieu-Nolf, M. (2018). Clinical features and prognosis of paraquat poisoning in French Guiana. *Medicine (United States)*, 97(15), 0–6. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000009621>
- EU (2008). Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006. *En proceso de sustitución por una nueva enmienda: Ver detalles (actualizado a: 19-12-2020):* <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/669/oj/eng>
- European Commission. 2003. Review report for the active substance paraquat. Standing Committee on the Food Chain and Animal Health.
- FAO (2003). Paraquat, Reporte 057-T (Toxicological Evaluation). Periodic Review Programme of the Codex Committee on Pesticide Residues. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y5221e/y5221e0k.htm>
- FAO/WHO (2015). FAO Plant Production and Protection Paper #223. Pesticide residues in food. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. Report of the Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Core Assessment Group on Pesticide Residues. Geneva, Suiza, 15-24 September 2015. World Health Organization; Food and Agriculture Organization, United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5186e.pdf>
- Feng, M. X., Li, Y. N., Ruan, W. S., & Lu, Y. Q. (2018). Predictive value of the maximum serum creatinine value and growth rate in acute paraquat poisoning patients. *Scientific Reports*, 8(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29800-0>
- Fernández, M., Ibáñez, M., Picó, Y., Mañes, J., 1998. Spatial and Temporal Trends of Paraquat, Diquat, and Difenzoquat Contamination in Water from Marsh Areas of the Valencian Community (Spain). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 35:377–384.
- Figueiredo-Fernandes, A., A. Fontainhas-Fernandes, E. Rocha, and M. A. Reis-Henriques. (2006). The Effect of Paraquat on Hepatic EROD Activity, Liver, and Gonadal Histology in Males and Females of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, Exposed at Different Temperatures. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 51,4: 626–632. doi:10.1007/s00244-005-0208-3.
- Fletcher, M. Barnett, L. 2003. Bee pesticide poisoning incidents in the United Kingdom. *Bulletin of Insectology* 56(1): 141-145.
- Foster SSD et al; *J Inst Water Environ Manage* 5: 186-93 (1991)
- Francesquett, J.C., Rizzetti, T.M., Cadaval Jr., T.R.S., Prestes, O.D., Adaime, M.B., Zanella, R., 2019. Simultaneous determination of the quaternary ammonium pesticides paraquat, diquat, chlormequat, and mepiquat in barley and wheat using a modified quick polar pesticides method, diluted standard addition calibration and hydrophilic interaction liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1592:101–111.

“Paraquat”

- Franchini, G.; Butinof, M.; Blanco, M.; Machado, A.L.; Fernández, R.A.; Díaz, M.P. (2016). Occupational risks associated with the use of pesticides in the green belt of Córdoba, Argentina. *Acta Toxicol. Argent.* 24 (1): 58-67.
- Fryer JD, Hance RJ and Ludwig JW, Long term persistence of Paraquat in sandy loam soil. *Weed Res* 15:189–194 (1975).
- Funderburk, H.H.J., Bozarth, G.A., 1967. “Review of the Metabolism and Decomposition of Diquat and Paraquat.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 15 (4): 563–567.
- Funderburk, Jr., H.H. Diquat and paraquat. In *Herbicides: Chemistry, Degradation, and Mode of Action*; Kearney, P.C.; Kaufman, D.D., Eds. Marcel Dekker: New York, 1988; 283–298.
- Furlong, M., Tanner, C.M., Goldman, S.M., Bhudhikanok, G.S., Blair, A., Chade, A., Comyns, K., Hoppin, J.A., Kasten, M., Korell, M., Langston, J.W., Marras, C., Meng, C., Richards, M., Ross, G.W., Umbach, D.M., Sandler, D.P. & Kamel, F. (2016). Protective glove use and hygiene habits modify the associations of specific pesticides with Parkinson’s disease. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 144–150. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.002>. Protective
- Fytizas, R. (1980) Toxicity of Paraquat to Three Marine Organisms. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 25 (1): 283–288.
- Gabryelak, T., and J. Klekot. (1985). The Effect of Paraquat on the Peroxide Metabolism Enzymes in Erythrocytes of Freshwater Fish Species. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology* 81 (2): 415–418. doi:10.1016/0742-8413(85)90030-1.
- Gadkari, D., 1988. “Effects of Atrazine and Paraquat on Nitrifying Bacteria.” *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 17 (4): 443–447.
- Gao, Y., Guo, S., Wang, Y., Yu, S., Wang, M., Lu, X., & Li, Y. (2019). Lymphocyte and its CD4+ and CD8+ subgroup changes after paraquat poisoning. *Human and Experimental Toxicology*, 38(9), 1024–1030. <https://doi.org/10.1177/0960327119851252>
- García S. (2016). La vigilancia de las intoxicaciones en Argentina y en América Latina. Notificación, análisis y gestión de eventos. *Acta Toxicol. Argent.* 24 (2): 134-160.
- García, S.; Lopez Sarmiento, C.; Moreno, I.; Panero, S. (2000). Primer Informe Estadístico de Consultas Registradas por los CIAATs (Centros de Información, Asesoramiento y Asistencia Toxicológica) de la República Argentina. Ministerio de Salud de la Nación. Disponible en: https://www.toxicologia.org.ar/wp-content/uploads/2016/03/l_informe_estadistico_2000.pdf
- Giulivi, C., Lavagno, C.C., Lucesoli, F., Novoa Bermúdez, M.J., Boveris, A. (1995). Lung damage in paraquat poisoning and hyperbaric oxygen exposure: superoxide-mediated inhibition of phospholipase A2. *Free Radical Biology and Medicine* 18 (2): 203-13.
- Gobierno de Australia. Grains, Research and Development Corporation (GRDC). Disponible en: https://grdc.com.au/data/assets/pdf_file/0027/126477/grdc_fs_pre-harvest-herbicide-pdf
- Goldner, W. S., Sandler, D. P., Yu, F., Hoppin, J. A., Kamel, F., & Levan, T. D. (2010). Pesticide use and thyroid disease among women in the agricultural health study. *American Journal of Epidemiology*, 171(4), 455–464. <https://doi.org/10.1093/aje/kwp404>
- Goldner, W.S., D.P. Sandler y col. (2010). Pesticide Use and Thyroid Disease Among Women in the Agricultural Health Study. *Am. J. Epidemiol.* 171 (4): 455–64.
- Gunantilake, S., Seneff, S. & Orlando, L., (2019). Glyphosate’s Synergistic Toxicity in Combination with Other Factors as a Cause of Chronic Kidney Disease of Unknown Origin. *Int. J. Environ. Res. Public Health*; 16, 2734, 2-26. doi:10.3390/ijerph16152734
- Gustafson, D. I. 1989. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environ toxic chem.*, 8(4), 339-357.
- Gustafson, D. I. 1993. *Pesticides in Drinking Water*. New York: Van Nostrand Reinhold.

“Paraquat”

- Haley, T. (1979). Review of the Toxicology of Paraquat (1,1'-Dimethyl-4,4'-bipyridinium Chloride). *CLINICAL TOXICOLOGY* 14(1): 1-46.
- Han, X., Yuan, R., Wang, G. Q., Zhang, C. J., 2014. Isolation of paraquat degrading bacteria and identification of degradation characteristics. *Anhui Agri. Sci. Bull.* 20, 38–39.
- Hance, R.J., Byast, T.H., Smith, P.D., 1980. “Apparent Decomposition of Paraquat in Soil.” *Soil Biology and Biochemistry* 12 (4): 447–448.
- Haque R, Freed VH; *Environmental Dynamics of Pesticides*, New York, NY: Plenum Press p. 97-114 (1975)
- Health Canada (2019). Pesticide Compliance and Enforcement Report for 2017-2018. Gobierno de Canadá. Disponible en: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/consumer-product-safety/reports-publications/pesticides-pest-management/corporate-plans-reports/pesticide-compliance-enforcement-report-2017-2018.html#c2>
- Hebert, V.R.; Miller, G.C., 1990. Depth dependence of direct and indirect photolysis on soil surfaces. *J. Agric. Food. Chem.*, 38, 913–918.
- Helling CS; *Soil Sci Soc Amer Proc* 35: 737-43 (1971)
- Henneberger, P. K., Liang, X., London, S. J., Umbach, D. M., Sandler, D. P., & Hoppin, J. A. (2014). Exacerbation of symptoms in agricultural pesticide applicators with asthma. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 87(4), 423–432. <https://doi.org/10.1007/s00420-013-0881-x>
- Hernández, J., Contreras Zúñiga, E., & Zuluaga Martinez, S. (2008). Intoxicación por Paraquat: descripción de un caso clínico. *Acta Toxicológica Argentina*, 16(1), 5–8.
- Hornsby, A. G., R. Don Wauchope, and A. E. Herner. 1996. *Pesticide Properties in the Environment*. Berlin: Springer.
- Hossain, F., Ali, O., D’Souza, U. J. A., & Saw Naing, D. K. (2010). Effects of pesticide use on semen quality among farmers in rural areas of Sabah, Malaysia. *Journal of Occupational Health*, 52(6), 353–360. <https://doi.org/10.1539/joh.L10006>
- Huang Y, Zan H, Bhatt P, Chen S. 2019 Paraquat Degradation From Contaminated Environments: Current Achievements and Perspectives. *Frontiers in Microbiology* 10, 1754.
- Huang, Y., Zhan, H., Bhatt, P., Chen, S., 2019. Paraquat Degradation From Contaminated Environments: Current Achievements and Perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 10, 1754.
- Ikpesu, T.O., 2014. Assessment of occurrence and concentrations of paraquat dichloride in water, sediments and fish from Warri River Basin, Niger Delta, Nigeria. *Environ Sci Pollut Res*, 22(11):8517-8525.
- Imai, Y.; Kuwatsuka, S., 1989 Characteristics of paraquat degrading microbes. *J. Pestic. Sci.*, 14 (4), 475-480.
- INCHEM-JMPR, 1972; <http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/v072pr23.htm>;
- IRIS (2010). U.S. Environmental Protection Agency’s Integrated Risk Information System (IRIS) on Paraquat (1910-42-5) Available from, as of March 29, 2010: <http://www.epa.gov/ncea/iris/index.html>
- Ismail, B.S., Sameni, M., Halimah, M., 2011. “Kinetics of the Microbial Degradation of 2,4-D and 14C-Labeled Paraquat in Two Types of Tropical Agricultural Soil.” *World Applied Sciences Journal* 14 (2): 324–333.
- Jafarnejad, S., 2015. Recent advances in determination of herbicide paraquat in environmental waters and its removal from aqueous solutions: a review. *Int Res J Appl Basic Sci* 9:1758–1774
- Jaiswal, D.K., Verma, J.P., Yadav, J., 2017. Microbe induced degradation of pesticides in agricultural soils. In: Singh SN (ed) *Microbeinduced degradation of pesticides*. Springer International Publishing, Cham, pp 167–189.

“Paraquat”

- Jenkins, J.J., Thomson, P.A. 1999. OSU Extension Pesticide Properties Database, Oregon State KEMI (National Chemicals Inspectorate). 1992. Pesticide Data Fact Sheet. Sweden.
- Jones, B.C., Huang, X. Mailman, R.B., Lu, L., Williams, R.W. (2014). The Perplexing Paradox of Paraquat: The Case for Host-Based Susceptibility and Postulated Neurodegenerative Effects. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 28(5): 191–197. <https://doi.org/10.1002/jbt.21552>.
- Kamel, F., Goldman, S. M., Umbach, D. M., Chen, H., Richardson, G., Barber, M. R., Meng, C., Marras, C., Korell, M., Kasten, M., Hoppin, J. A., Comyns, K., Chade, A., Blair, A., Bhudhikanok, G. S., Webster Ross, G., William Langston, J., Sandler, D. P., & Tanner, C. M. (2014). Dietary fat intake, pesticide use, and Parkinson’s disease. *Parkinsonism and Related Disorders*, 20(1), 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2013.09.023>
- Kenaga EE; *Ecotox Environ Safety* 4: 26-38 (1980)
- Kennedy GL Jr; *Alkylpyridines and Miscellaneous Organic Nitrogen Compounds*. Patty's Toxicology. 6th ed. (1999-2015). New York, NY: John Wiley & Sons, Inc. On-line Posting Date: 17 Aug 2012
- Kerle EA, Jenkins JJ and Vogue PA (2007). Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. Oregon State Univ Extension Service, EM8561-E.
- Kerle, E.A., J.J. Jenkins and P.A. Vogue, 1996. Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. Report EM 8561, Oregon State University Extension Service. <http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/em/em8561-e.pdf>.
- Khan, S. K. 1980. *Pesticides in the Soil Environment*. Amsterdam: Elsevier.
- Kim, J., Ko, Y., & Lee, W. J. (2013). Depressive symptoms and severity of acute occupational pesticide poisoning among male farmers. *Occupational and Environmental Medicine*, 70(5), 303–309. <https://doi.org/10.1136/oemed-2012-101005>
- Knight BAG and Denny PJ, The interaction of Paraquat with soil: adsorption by an expanding lattice clay mineral. *Weed Res* 10:40–48 (1970).
- Knight, B.A.G., Denny, P.J., 1970. The interaction of paraquat with soil: adsorption by an expanding lattice mineral clay. *Weed Res.*, 10, 40-48.
- Konthonbut, P., Kongtip, P., Nankongnab, N., Tipayamongkholgul, M., Yoosook, W., & Woskie, S. (2018). Paraquat exposure of pregnant women and neonates in agricultural areas in Thailand. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph15061163>
- Koureas, M., Rachiotis, G., Tsakalof, A., & Hadjichristodoulou, C. (2017). Increased frequency of rheumatoid arthritis and allergic rhinitis among pesticide sprayers and associations with pesticide use. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph14080865>
- Lajmanovich, R. C.; Izaguirre, M. F.; Casco, V. H. (1988). Paraquat Tolerance and Alteration of Internal Gill Structure of *Scinax nasica* Tadpoles (Anura: Hylidae). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 34, 364–369.
- Lebov, J.F., Engel, L.S., Richardson, D., Hogan, S.L., Hoppin, J.A. & Sandler, D.P. (2016) Pesticide use and risk of end-stage renal disease among licensed pesticide applicators in the Agricultural Health Study. *Occup Environ Med*, 73(1): 3–12. doi:10.1136/oemed-2014-102615.
- Lee SJ et al; *J Agric Food Chem* 43: 1343-47 (1999)
- Lee, S.J., Katayama, A., Kimura, M., 1995. “Microbial Degradation of Paraquat Sorbed to Plant Residues.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43 (5): 1343–1347.

“Paraquat”

- Lewis, R.J. Sr. (ed) Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials. 11th Edition. Wiley-Interscience, Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2004., p. 2820
- Lewis, R.J. Sr.; Hawley's Condensed Chemical Dictionary 15th Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY 2007., p. 945
- Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D.J., Green, A. 2016. An international database for pesticide risk assessments and management, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 22: 1050-1064, DOI: 10.1080/10807039.2015.1133242.
- Li, Y., Ge, X.Z., Wang, X.Y., Gao, R., 2017. The Invention Discloses a Compound Bacterial Agent used to Degrade Paraquat and a Preparation Method. China. Patent No CN 106520618 A. Beijing: National Intellectual Property Administration.
- Lin, Chih-Chuan, Kuang-Hung Hsu, Gwo-Jyh Chang (2020). Hemodynamic and electromechanical effects of paraquat in rat heart. #bioRxiv, Junio 2, 2020. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.06.01.127464>
- Linder, G., J. Barbita, and T. Kwaiser. 1990. Short-Term Amphibian Toxicity Tests and Paraquat Toxicity Assessment. In Aquatic Toxicology and Risk Assessment: Thirteenth Volume, ASTM STP 1096, edited by W. G. Landis and W. H. van der Schalie, 189–198. Philadelphia, PA, USA: American Society for Testing and Materials.
- Liou, H.H., Tsai, M.C., Chen, C.J., Jeng, J.S., Chang, Y.C., Chen S.Y & Chen R.C. (1997). Environmental factors and risk Parkinson's disease: A case-control study in Taiwan. Neurology; 48:1583-1588
- Lock, E. A., and M. F. Wilks. 2010. “Paraquat.” In Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology, edited by R. Krieger, 1771. Amsterdam: Elsevier.
- Long, KWJ, Dempsey, M, Gillings, E, and Shillabeer, N (1996) Paraquat: degradation of 14C-labelled material in natural sediment-water systems. Study Report BL5569/B, Syngenta File No. PP148/0671.
- Lopez Sarmiento, C; Moreno, I.; Sagardoyburu, S. (2002). Tercer Informe Estadístico de Consultas Registradas por los CIAATs (Centros de Información, Asesoramiento y Asistencia Toxicológica) de la República Argentina. Ministerio de Salud de la Nación. Disponible en: https://www.toxicologia.org.ar/wp-content/uploads/2016/03/III_informe_estadistico_2002.pdf
- Lyman WJ et al; Handbook of Chemical Property Estimation Methods. Washington, DC: Amer Chem Soc pp. 8-12 (1990)
- Ma, J., X. Li, Y. Li, and D. Niu. (2014) Toxic Effects of Paraquat on Cytokine Expression in Common Carp, *Cyprinus carpio* L. Journal of Biochemical and Molecular Toxicology 28 (11): 501–509. doi:10.1002/jbt.21590.
- MacBean C, ed; e-Pesticide Manual. 15th ed., ver. 5.1, Alton, UK; British Crop Protection Council. Paraquat dichloride (4685-14-7) (2008-2010)
- Mangano, E.N., Shawn Hayley (2007). Inflammatory priming of the substantia nigra influences the impact of later paraquat exposure: Neuroimmune sensitization of neurodegeneration. Neurobiology of Aging 30 (2009) 1361–1378.
- Maqueda C et al; Soil Sci 148: 336-45 (1989)
- Martínez Vidal, J.L., Belmonte Vega, A., Sánchez López, F.J., Garrido Frenich, A., 2004. Application of internal quality control to the analysis of quaternary ammonium compounds in surface and groundwater from Andalusia (Spain) by liquid chromatography with mass spectrometry. Journal of Chromatography A, 1050:179–184
- Masanet, J., M.J.Gómez-Lechón, J.V.Castell (1988). Hepatic toxicity of paraquat in primary cultures of rat hepatocytes. Toxicology in Vitro 2(4): 275-282.
- Mekwatanakarn, P., Sivasithamparam, K., 1987. Effect of certain herbicides on saprophytic survival and biological suppression of the take-all fungus. New Phytol. 106, 153–159.

“Paraquat”

- Mena, C.; Bettini, M.; Cerda, P.; Concha, F.; Paris, E. (2004). Epidemiología de las intoxicaciones en Chile: una década de registros. [en línea]. *Rev Med Chile*. 132:493-499. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/rmc/v132n4/art13.pdf>
- MGAP (2020). Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (Uruguay). Dirección General de Servicios Agrícolas. Advertencia: el uso de Paraquat en Colza/Brassica carinata causa desvíos de uso y violaciones en los niveles de residuos. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/advertencia-uso-Paraquat-colzabrassica-carinata-causa-desvios-uso-violaciones>
- Ministerio de Salud de Argentina (2014). Intoxicaciones e indicadores de efecto y exposición a agentes Tóxicos. Normativa y tutorial para la vigilancia a través del Sistema Nacional de Vigilancia de la Salud – SNVS (C2 y SIVILA). [en línea]. Actualización 2014 Buenos Aires, 2014. Disponible en: <http://www.msal.gov.ar/images/stories/epidemiologia/vigilancia/sivila/tutoriales/intoxicaciones-tutorial-consensuado-2014.pdf>.
- Morano A., Jimenez-Jimenez F.J., Molina J.A. & Antolin M.A. (1994) Risk-factors for Parkinson's disease: case-control study in the province of Caceres, Spain. *Acta Neurol Scand*; 89: 164-170.
- Moretto, A., y Colosio, C. (2011). Biochemical and toxicological evidence of neurological effects of pesticides: The example of Parkinson's disease. *NeuroToxicology* 32 (4): 383-91.
- Murray R et al; *Environ Toxicol Chem* 16: 84-90 (1997)
- Murray, R., Phillips, P., Bender, J., 1997. "Degradation of Pesticides Applied to Banana Farm Soil: Comparison of Indigenous Bacteria and a Microbial Mat." *Environmental Toxicology and Chemistry* 16 (1): 84–90.
- Murray, R.E.; Gibson, J.E. (1974). Paraquat disposition in rats, guinea pigs and monkeys. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 27: 283-291.
- Mussi, M.A.; Calcaterra, N.B. (2010) Paraquat-induced oxidative stress response during amphibian early embryonic development. *Comparative Biochemistry and Physiology. Toxicology & pharmacology*, 151(2):240-7.
- Naciones Unidas. 2019. Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, Edición 8 [Internet]. Disponible desde: <https://unece.org/ghs-rev8-2019>.
- Naudet, N., E. Antier, D. Gaillard, E. Morignat, y col. (2017). Oral Exposure to Paraquat Triggers Earlier Expression of Phosphorylated α -Synuclein in the Enteric Nervous System of A53T Mutant Human α -Synuclein Transgenic Mice. *J. Neuropathol. Exp. Neurol.* 76 (12): 1046–57.
- Nawong, C., Umsakul, K., Sermwittayawong, N., 2018. Rubber gloves biodegradation by a consortium, mixed culture and pure culture isolated from soil samples. *Brazi. J. Microbiol.* 49, 481–488.
- NIH: National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 1988, Paraquat. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/15939>. Revisado 13 Noviembre, 2020.
- NLM (2020): Paraquat. Hazardous Substances Data Bank. National Library of Medicine (NLM). Bethesda, MD. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=paraquat>
- Nunes, M. E., T. E. M€uller, M. M. Braga, B. D. Fontana, V. A. Quadros, A. Marins, C. Rodrigues, et al. (2017) Chronic Treatment with Paraquat Induces Brain Injury, Changes in Antioxidant Defenses System, and Modulates Behavioral Functions in Zebrafish. *Molecular Neurobiology* 54 (6): 3925–3934. doi:10.1007/s12035-016-9919-x.
- O'Leary, K.T., N. Parameswaran, L.C. Johnston, J.M. McIntosh, y col. (2008). Paraquat exposure reduces nicotinic receptor-evoked dopamine release in monkey striatum. *J Pharmacol. Exp. Ther.* 327(1): 124–29.

“Paraquat”

- Observatorio SRT. (2014). Encuesta sobre Empleo, Protección Social y Condiciones de Trabajo de los Asalariados Agrarios. Resultados seleccionados. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/srt/observatorio-srt/encuestas-salud-trabajo/asalariados-agrarios-2013-2014>
- Oghabian Z., Williams J., Mohajeri M., Nakhaee S., Shojaeepour S., Amirabadizadeh A., Elhamirad, S., Hajihosseini, M., Mansouri, B. & Mehrpour, O. (2019) Clinical features, treatment, prognosis, and mortality in paraquat poisonings: A hospital-based study in Iran. *J Res Pharm Pract*; 8:129-36. https://doi.org/10.4103/jrpp.JRPP_18_71
- OPDS (2008). Plaguicidas en la Provincia de Buenos Aires: Información Toxicológica, Ecotoxicológica y Aspectos Ambientales. Dirección Provincial de Recursos Naturales [Programa Gestión Ambiental en Agroecosistemas]. Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible, Gobierno Prov. Buenos Aires. Disponible en: <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/>
- OPS (2017). Vida saludable y el control de la diabetes ayudan a prevenir la enfermedad renal crónica. Organización Panamericana de la Salud, OPS. Marzo 10, 2017. https://www.paho.org/arg/index.php?option=com_content&view=article&id=10104:vida-saludable-y-el-control-de-la-diabetes-ayudan-a-prevenir-la-enfermedad-renal-cronica&Itemid=234#:~:text=En%20Argentina%2C%20el%2010%25%20de,y%20la%20necesidad%20de%20trasplante.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS) Harry, B., Balseiro, J., Harry, I., Schultz, A. & Mc Bean, R. (2016). Prevención de la conducta suicida. Perfil del comportamiento suicida en Guyana: Estudio retrospectivo de los años 2010 al 2012. Washington, DC; 43: 47. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/31167>
- Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud. (2013) La enfermedad renal crónica en comunidades agrícolas de Centroamérica. Documento conceptual. 52° Reunión Consejo Directivo. [en línea]. Washington. Disponible en: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=22777&Itemid=270&ang=es
- OSHA (2016). HAZARD COMMUNICATION. Hazard Classification Guidance for Manufacturers, Importers, and Employers. Documento OSHA 3844-02 2016. <https://www.osha.gov/Publications/OSHA3844.pdf>
- Ouyang Y et al; *Bull Environ Contam Toxicol* 73: 725-31 (2004)
- Papini, S., Langenbach, T., Luchini, L.C., de Andréa M.M. 2006. Influence of substrate on bioaccumulation of 14C-paraquat in compost worms *Eisenia foetida*. *J Environ Sci Health B*, 41(5):523-30.
- Parker S, and Leahey JP (1988) Paraquat Aqueous Photolysis at pH7, Unpublished Study Submitted by ICI Plant Protection Division, Jealott's Hill Research Centre, Bracknell, Berkshire, Report no. RJ0663B, Syngenta File no. PP148/0667.
- Parvez, S., and S. Raisuddin. (2006). Preexposure to Copper Modulates Nonenzymatic Antioxidants in Liver of *Channa punctata* (Bloch) Exposed to the Herbicide Paraquat. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 76 (3): 545–551. doi:10.1007/s00128-006-0954-6.
- Pataranawat, P., Kitkaew, D., Suppaudom, K., 2012. paraquat contaminations in the chanthaburi river and vicinity areas, chanthaburi province, Thailand. *Journal of Science, Technology, and Humanities*, 10(1):17-24.
- Pateiro-Moure, M., Pérez-Novo, C., Arias-Estévez, M., Rial-Otero, R., Simal-Gándara, J., 2009. “Effect of Organic Matter and Iron Oxides on Quaternary Herbicide Sorption-Desorption in Vineyard-Dedicated Soils.” *Journal of Colloid and Interface Science* 333 (2): 431–438.

“Paraquat”

- Patel, S., V. Singh, A. Kumar, y col. (2006). Status of antioxidant defense system and expression of toxicant responsive genes in striatum of maneb- and paraquat-induced Parkinson's disease phenotype in mouse: Mechanism of neurodegeneration. *Brain Research* 1081: 9 – 18.
- Patiero-Moure M et al; *J Agric Food Chem* 55: 6219-26 (2007)
- Pesticides residues in food. Evaluations 2004, Part I-Residues volumen 1-182/1
- Platford RF; *Chemosphere* 12: 1107-11 (1983)
- PPDB, Pesticides Properties Data Base (2020). University of Hertfordshire. Disponible en <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>
- PPDB: Pesticide Properties DataBase. University Hertfordshire. Paraquat Retrieved December 10, 2020, from <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/505.htm>
- PubChem (2020). National Library of Medicine (US), National Center for Biotechnology Information; 2004-. PubChem Compound Summary for CID 15939, Paraquat; <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Paraquat>
- Purisai, M.G., A.L. McCormack, S. Cumine, J. Li, M.Z. Isla, D.A. Di Monte (2007). Microglial activation as a priming event leading to paraquat induced dopaminergic cell degeneration. *Neurobiol. Dis.* 25 (2): 392–400.
- Ramos-Gutierrez, R.Y., Real-Ornelas, G.A., Gonzalez Ruiz, H.A., Lona-Reyes, J.C., Acuña-Chavez, N., Barriga-Marin, J.A. (2019) Tratamiento tardío de la intoxicación por paraquat en pacientes pediátricos. Reporte de dos casos. *Acta toxicologica Argentina.* 27 (3): 101-108
- Reinbold KA et al; Adsorption of Energy-Related Organic Pollutants: A Literature Review; USEPA-600/3-79-086. Athens, GA: USEPA p. 105 (1979)
- Ricketts DC; *Pestic Sci* 55: 566-614 (1999)
- Ricketts, D., 1998 Paraquat is intrinsically biodegradable. Book of Abstracts, 9th International Congress of Pesticide Chemistry, The Food-EnVironment Challenge; Royal Society of Chemistry and International Union of Pure and Applied Chemistry: London, Vol. 2, 6A018.
- Ricketts, D., 1999. The microbial biodegradation of paraquat in soil. *Pestic. Sci.*, 55, 596-598.
- Riley D; *BCPC Monogr* 47: 11-20 (1991).
- Roberts, T.R., Dyson, J.S., Lane, M.C.G., 2002. Deactivation of the biological activity of paraquat in the soil environment: a review of long-term environmental fate. *J. Agric. Food Chem.* 50, 3623–3631.
- Rojo, Ana I., Carmen Cavada, María Rosa de Sagarra, Antonio Cuadrado (2007). Chronic inhalation of rotenone or paraquat does not induce Parkinson's disease symptoms in mice or rats. *Experimental Neurology* 208: 120–126
- Rongchapo, W., Khamdahsag, P., Grisdanurak, N., 2016. Photocatalytic degradation of Paraquat by using titanium dioxide on rice husk silica and zeolite in sodium form. *Suranaree J Sci Technol* 23:343–350
- Ross J and Robert I. Krieger (1980). Synthesis and properties of paraquat (methyl viologen) and other herbicidal alkyl homologs. *J. Agric. Food Chem.* 1980, 28, 5, 1026–1031.
- Sahid, I., Hamzah, A., Aris, P.M., 1992. Effects of paraquat and alachlor on soil microorganisms in peat soil. *Pertanika* 15:121–5.
- Saint-Pierre, M., M.E. Tremblay, A. Sik y col. (2006). Temporal effects of paraquat/maneb on microglial activation and dopamine neuronal loss in older rats. *J. Neurochem.* 98: 760–772.
- Salazar-Lugo, R., C. Mata, A. Oliveros, L. M. Rojas, M. Lemus, and E. Rojas-Villaruel. 2011. Histopathological Changes in Gill, Liver and Kidney of Neotropical Fish *Colossoma macropomum* Exposed to Paraquat at Different Temperatures. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 31 (3): 490–495. doi:10.1016/j.etap.2011.02.002.

“Paraquat”

- Sartori, F., Vidrio, E. 2018. Environmental fate and ecotoxicology of paraquat: a California perspective, *Toxicological & Environmental Chemistry*, DOI:10.1080/02772248.2018.1460369
- SAyDA, OPS, AAMMA (2007). Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Salud. La problemática de los agroquímicos y sus envases, su incidencia en la salud de los trabajadores, la población expuesta por el ambiente. - 1a Ed. - Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable: OPS: AAMMA.
- Sebiomo, A., Ogundero, V.W., Bankole, S.A., 2011. Effect of four herbicides on microbial population, soil organic matter and dehydrogenase activity. *African J. Biotechnol.* 10, 770–778.
- Singh, B., Singh, K., 2016. Microbial degradation of herbicides. *Crit. Rev. Microbiol.* 42, 245–261.
- Slade P, Photochemical degradation of Paraquat. *Nature (London)* 207:515–516 (1965).
- Slade P, The fate of Paraquat applied to plants. *Weed Res* 6:158–167 (1966).
- Smith, E.A., and Mayfield, C.I. (1978). Paraquat: Determination, degradation, and mobility in soil. *Water Air Soil Pollut.* 9: 439–452.
- Smith, E.A., and Oehme, F.W. (1991). A review of selected herbicides and their toxicities. *Vet. Hum. Toxicol.* 33: 596–608.
- Sojo LE et al; *Environ Sci Health B24*: 619-46 (1989)
- Song, Y., Li, C., Luo, F., & Tao, Y. (2019). Clinical features and risk factors of acute kidney injury in children with acute paraquat intoxication. *Journal of International Medical Research*, 47(9), 4194–4203. <https://doi.org/10.1177/0300060519860032>
- Sprague, C. (2015), Michigan State University. Preharvest herbicide applications are an important part of direct-harvest dry bean production. Disponible en: <https://www.canr.msu.edu/news/preharvest-herbicide-applications-are-an-important-part-of-direct-harvest-d>
- SRT. (2020) Boletín Estadístico Anual de Accidentabilidad por Sector. Disponibles en: https://www.srt.gob.ar/estadisticas/acc_anual_sector.php
- Stevenson FJ; *J Environ Qual* 1: 333-43 (1972)
- Summers, L.A., 1980. *The Bipyridinium Herbicides*. New York, United States: Academic Press.
- Syngenta Crop Protection AG (2020). Centro de información sobre el Paraquat. Disponible en www.Paraquat.com/es
- Tang, Y., Hu, L., Hong, G., Zhong, D., Song, J., Zhao, G., & Lu, Z. (2018). Diagnostic value of complete blood count in paraquat and organophosphorus poisoning patients. *Toxicology and Industrial Health*, 34(7), 439–447. <https://doi.org/10.1177/0748233718770896>
- Tawara, T., T. Fukushima, N. Hojo Akio Isobe, K. Shiwaku, y col. (1996). Effects of paraquat on mitochondrial electron transport system and catecholamine contents in rat brain. *Arch. Toxicol.* 70: 585-589.
- TELAM (2016). Más de 200 vacas murieron intoxicadas por un herbicida (Prov. La Pampa). TELAM S.E., Agencia Nacional de Noticias, Sección Medio Ambiente. <https://www.telam.com.ar/notas/201611/170605-la-pampa-200-vacas-murieron-intoxicadas.html>
- Thi Hue, N., Thi Phuong Mai, N., Hoang, N., Hoang Tung, N., 2018. Paraquat in Surface Water of Some Streams in Mai Chau Province, the Northern Vietnam: Concentrations, Profiles, and Human Risk Assessments. *Journal of Chemistry*, Article ID 8521012.
- Tian, X.M., Wang, X.L., Peng, S.T., Wang, Z., Zhou, R., Tian, H., 2018. Isolation, screening, and crude oil degradation characteristics of hydrocarbons-degrading bacteria for treatment of oily wastewater. *Water Sci. Technol.* 78, 2626–2638.

“Paraquat”

- Tomlin CDS (ed.) (2003): Pesticide Manual: A World Compendium of Pesticides. British Crop Protection Council.
- Tortorelli, M C; Hernández, D.A.; Vázquez, G.R. and Salibián, A. (1990) Effects of paraquat on mortality and cardiorespiratory function of catfish fry *Plecostomus commersoni*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 19:523-9.
- Trakulsrichai, S., Krongvorakul, J., Leelakunakorn, W., Khongjaroensakun, N., Naksensin, W., Sriapha, C., Wananukul, W., & Auparakkitanon, S. (2018). Paraquat Exposure Through Breast-feeding. Asia-Pacific Journal of Public Health, 30(7), 673–674. <https://doi.org/10.1177/10110539518808847>
- Trakulsrichai, S., Paisanrodjanarat, B., Sriapha, C., Tongpoo, A., Udomsubpayakul, U., & Wananukul, W. (2019). Clinical outcome of paraquat poisoning during pregnancy. Clinical Toxicology, 57(8), 712–717. <https://doi.org/10.1080/15563650.2018.1549328>
- Tsai, Wen-Tien (2013). A review on environmental exposure and health risks of herbicide paraquat, Toxicol. Environ. Chem. 95 (2): 197-206, DOI: 10.1080/02772248.2012.761999
- Tu, C.M., Bollen, W.B., 2006. Interaction between paraquat and microbes in soils. Weed Res. 8, 38–45.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2020. ECOTOX User Guide: ECOTOXicology Knowledgebase System. Version 5.3. Available: <http://www.epa.gov/ecotox/>
- UE (2003). Informe de revisión relativo a la sustancia activa paraquat. Documento SANCO/10382/2002 –final.
- UNEP-FAO (2012). Draft Decision Guidance Document – Paraquat. Rome, Secretariat of the Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (1997). Reregistration Eligibility Decision (RED): Paraquat Dichloride. 11:61.
- Upton BR, Hendley P and Skidmore MW (1985), Paraquat: Hydrolytic Stability in Water at pH 5, 7 and 9. Submitted by ICI Plant Protection Division, Jealott’s Hill Research Centre, Bracknell, Berkshire, UK, Report no. RJ0436B, Syngenta File no. PP148/0666.
- US EPA; Estimation Program Interface (EPI) Suite. Ver. 4.11. Nov, 2012. Available from, as of Jun 2, 2015: <http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuitedi.htm>
- USDA; Agric Res Service. ARS Pesticide Properties Database. Last Updated Oct 1, 2001. Paraquat dichloride (1910-42-5). Available from, as of May 26, 2015: <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>
- USEPA (2011). Paraquat Dichloride: Proposed Interim Mitigation Decision. US Environmental Protection Agency, OPP office. Washington DC, USA. <file:///C:/Users/DELL/Downloads/EPA-HQ-OPP-2011-0855-0031.pdf>
- USEPA (2015). Hazard Categorization Criteria: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/ghscriteria-summary.pdf>
- USEPA (2016). Paraquat dichloride. Proposed Interim Mitigation Decision. March 2nd 2016. <file:///C:/Users/DELL/Downloads/EPA-HQ-OPP-2011-0855-0031.pdf>
- USEPA (2018). Federal Register, Rules and Regulations. 83 (No. 121), June 22, 2018 / Rules and Regulations.
- USEPA (2019). Paraquat Dichloride: Draft Human Health Risk Assessment in Support of Registration Review, June 26th 2019. file:///C:/Users/DELL/Downloads/EPA-HQ-OPP-2011-0855-0121_content.pdf
- USEPA 2008. https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/guidance-reporting-environmental-fate-and-transport#I_B_three

“Paraquat”

- USEPA, 1997, 2019; Documentos disponibles en:
1- https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/ppls/085678-00058-20191230.pdf; 2-
<https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/0262red.pdf>
- Verissimo, G., Costa Moreira, J., Meyer, A., 2018. Paraquat Contamination in Surface Waters of a Rural Stream in the Mountain Region in the State of Rio De Janeiro Southeastern Brazil. *Journal of Environmental and Toxicological Studies*, volume 2 (1).
- Viale Lopez, G. (2014). Revisión Bibliográfica: Intoxicaciones por paraquat. *Medicina Legal de Costa Rica - Edición Virtual*; 31 (2). Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152014000200009&lng=en&tlng=es.
- Vinten AJA et al; *J Agric Food Chem* 31: 662-4 (1983)
- Vismara, C., V. Battista, G. Vailati, and R. Bacchetta. 2000. Paraquat Induced Embryotoxicity on *Xenopus laevis* Development. *Aquatic Toxicology* 49 (3): 171–179. doi:10.1016/s0166-445x(99) 00080-6.
- Von Campenhausen, S., Bornschein B., Wick R., et al. (2005). Prevalence and incidence of Parkinson’s disease in Europe. *Eur. Neuropsychopharmacol.* 15: 473–90
- Waggoner, J. K., Henneberger, P. K., Kullman, G. J., Umbach, D. M., Kamel, F., Beane Freeman, L. E., Alavanja, M. C. R., Sandler, D. P., & Hoppin, J. A. (2013). Pesticide use and fatal injury among farmers in the Agricultural Health Study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 86(2), 177–187. <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0752-x>
- Wang, A., Costello, S., Cockburn, M., Zhang, X., Bronstein, J., & Ritz, B. (2011). Parkinson’s disease risk from ambient exposure to pesticides. *European Journal of Epidemiology*, 26(7), 547–555. <https://doi.org/10.1007/s10654-011-9574-5>
- Wang, X., Zhang, M., Ma, J., Zhang, Y., Hong, G., Sun, F., Lin, G., & Hu, L. (2015). Metabolic changes in paraquat poisoned patients and support vector machine model of discrimination. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 38(3), 470–475. <https://doi.org/10.1248/bpb.b14-00781>.
- Wauchope RD et al; *Rev Environ Contam Toxicol* 123: 1-155 (1992)
- Webb RMT et al; *J Environ Qual* 37: 1145-57 (2008)
- Wegman D, Crowe J, Hogstedt C, Jakobsson K, Wesseling C. Eds. *Nefropatía Mesoamericana: informe del segundo taller internacional de investigación*. 2015. Informe técnicos IRET, nº 36 ISBN 978-9968-924-35-1
- WHO (World Health Organization). *Environ Health Criteria* 39: Paraquat and Diquat p.19 (1984). Geneva. Revisado 13 Noviembre 2020
- WHO/FAO [1971]. Paraquat (AGP:1970/M/12/1). WHO/FOOD ADD/71.42 1970 Evaluations of some pesticide residues in foods [The monographs]. Joint Meeting of the FAO Working Party of Experts; WHO Expert Group on Pesticide Residues, Roma, Noviembre 9-16, 1970. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); World Health Organization, Rome, Italy. Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/v070pr19.htm>
- WHO/INCHEM (1984). *Environmental Health Criteria, Reporte EHC #39. Paraquat and Diquat*. International Program on Chemical Safety, World Health Organization. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/37301/9241540994-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- WHO/INCHEM (2000). Paraquat. International Programme on Chemical Safety (INCHEM), Poisons Information Monograph PIM399. Revisión temática original: C. Ashton & Leahy, N., Londres, UK, 1989. Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim399.htm>

“Paraquat”

- WHO/JMPR (1976). PARAQUAT. Joint Meeting of Pesticide Research, World Health Organization. <http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/v076pr19.htm>
- Widdowson, P.S., M.J. Farnworth, y col. (1996). No changes in behaviour, nigro-striatal system neurochemistry or neuronal cell death following toxic multiple oral paraquat administration to rats. *Human and Experimental Toxicology* 15: 583-91.
- WSSA; Herbicide Handbook of the Weed Science Society of America, 6th ed. Champaign, IL: Weed Sci Soc Amer p. 202-4 (1989)
- Wu, C.Y., Liu, J.K., Chen, S.S., Deng, X., Li, Q.F., 2013. “Isolation and Characterization of Paraquat-Degrading Extracellular Humus-Reducing Bacteria from Vegetable Field.” *Advanced Materials Research* 807–809: 1026–1030.
- Wunnapuk, K., Mohammed, F., Gawarammana, I., Liu, X., Verbeeck, R. K., Buckley, N. A., Roberts, M. S., & Musuamba, F. T. (2014). Prediction of paraquat exposure and toxicity in clinically ill poisoned patients: a model based approach. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 78(4), 855–866. <https://doi.org/10.1111/bcp.12389>
- Ye, P., Lemley, A.T., 2008. “Adsorption Effect on the Degradation of Carbaryl, Mecoprop, and Paraquat by Anodic Fenton Treatment in an Swy-2 Montmorillonite Clay Slurry.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (21): 10200–10207.
- Yeates, G.W., Stout, J.D., Ross, D.J., Dutch, M.E., Thomas, R.F., 1976. Long-term effects of paraquat-diquat and additional weed control treatments on some physical, biological, and respiratory properties of a soil previously under grass. *New Zeal. J. Agric. Res.* 19, 51–61.
- Yeates, G.W.; Stout, J.D.; Ross, D.J.; Dutch, M. E; Thomas, R.F. (1976). Long-term effects of Paraquat-diquat and additional weed control treatments on some physical, biological, and respiratory properties of a soil previously under grass. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 19:1, 51-61.
- Yoovathaworn K., Podprasart, V., Satayavivad, J. (2008). Bioaccumulation of paraquat following a single dose and multiple dose exposure in male Wistar rats. Abstracts of the 2nd Asian Pacific Regional ISSX (*International Society for the Study of Xenobiotics*) Meeting. May 11-13, 2008. Shanghai, China. *Drug Metab. Rev.* 40 (Suppl. 2): 1-226. doi: 10.1080/03602530802110389.
- Zahedi, F., Behpour, M., Ghoreishi, S.M., Khalilian, H., 2015. Photocatalytic degradation of paraquat herbicide in the presence TiO₂ nanostructure thin films under visible and sun light irradiation using continuous flow photoreactor. *Sol Energy* 120:287–295.
- Zauscher, F., Chalela, G., Kopytko, M., 2002. Biodegradation of two commercial herbicides (Gramoxone and Matancha) by the bacteria *Pseudomonas putida*. *Electron. J. Biotechn.* 5, 182–195.
- Zhou Q, Kan B, Jian X, Zhang W, huimin I, Zhang Z. 2013. Paraquat poisoning by skin absorption: Two case reports and a literature review. *Experimental and Therapeutic Medicine* 6: 1504-1506.

“Paraquat”

13- ANEXO

13. ANEXO
Tabla A1: Empresas que tienen registrada en Argentina, formulaciones comerciales de Paraquat
Tabla A2: Concentraciones de paraquat en distintos compartimientos ambientales (EN PROCESO)
Tabla A3: Efectos de paraquat en estudios de laboratorio
Tabla A4: Efectos de paraquat en salud humana

Tabla A1. Presentación de formulaciones comerciales de PARAQUAT / Paraquat Dicloruro. CT= categoría toxicológica. Los colores identifican las categorías toxicológicas de los compuestos, siendo amarilla CT= 2 y azul CT=3. EST= estado

Empresa	Marca Comercial	Ingrediente Activo	CT	Conc.	Est	Unidad
UPL ARGENTINA S.A.	DEFOLEX	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
SYNGENTA AGRO S.A.	GRAMOXONE SUPER	PARAQUAT	II	20	SL	Kg
DISTRICAMPO S.R.L.	DISTRICAMPO	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
HELM ARGENTINA S.R.L.	BARON	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
STOCKTON S.A.	PARAQUAT STOCKTON 27,6	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
HELM ARGENTINA S.R.L.	HEROQUAT 27,6	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
SYNTECH RESEARCH S.R.L.	PARAQUAT SINON	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
NUFARM S.A.	PARAQUAT NUFARM	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
SYNGENTA AGRO S.A.	HERBOXONE	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
ARANAMI S.A.	ARAQUAT	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
ADAMA ARGENTINA S.A.	ADAMA ESSENTIALS SECAFOL	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
RAINBOW AGROSCIENSES S.A.	RAINQUAT	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
FALCROP S.A.	FALQUAT	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
AGM ARGENTINA S.A.	PARAQUAT AGM	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
PHILAGRO S.A.	PARAQUAT PHILAGRO	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
NUFARM S.A.	NUFARM PARAQUAT 27,6	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
AGROEMPRESA COLON S.A.	PARAQUAT KEMSURE	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt

“Paraquat”

FARM CHEMICALS ARGENTINA S.R.L.	PARAQUAT FARM CHEMICALS	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
RED SURCOS S.A.	FOGO SF	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
GLEBA S.A.	PARAGLEX	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
RED SURCOS S.A.	FOGO SURCOS	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
SHARDA CROP CHEM LIMITED SUC. EMP.EXT.	PARAQUAT SHARDA 27,6 SL	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
RED SURCOS S.A.	FOGO 27,6 SL	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
NUTRIEN AG SOLUTIONS ARGENTINA S.A.	KEMAZON	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
CROP MAX S.A.	CROP MAX PARAQUAT	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
SINER S.A.	KUAT	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
INSUMOS AGROQUIMICOS S.A.	PARAQUAT INSUAGRO	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
FORMULAGRO S.R.L.	PARAQUAT FORMULAGRO	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
GRUPO AGROS S.A.	PARAQUAT II AGROS	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
AGROEMPRESA COLON S.A.	DESECANTE KEMSURE	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
AGROEMPRESA COLON S.A.	PARACUAT 27,6 KEMSURE	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
BORCHES Y CIA S.A.	PARAQUAT MAX	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
ARECO SEMILLAS S.A.	PARAQUAT 27,6 AS	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
MOLINO CAÑUELAS S.A.C.I.F.I.A.	GREEN PARAQUAT 27,6	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
HUAGRO S.A.	PARAQUAT HUAGRO	PARAQUAT	III	27,6	SL	Lt
ATANOR S.C.A.	FIREBALL	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
SINER S.A.	PARAQUAT 27,6 SINER	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
ASOCIACION DE COOPERATIVAS ARGENTINAS COOP.LTD.	DOGO 27,6 SL	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
AAGROCO S.A.	AGRIQUAT	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
AGM ARGENTINA S.A.	LIGERO	PARAQUAT	III	27,6	SL	Lt
TECNOMYL S.A.	TECNOQUAT	PARAQUAT	III	27,6	SL	Lt
RURALCO SOLUCIONES S.A.	PARAQUAT 27,6 SIGMA	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
TECNOMYL S.A.	QUATERNION	PARAQUAT	III	27,6	SL	Lt
TECNOMYL S.A.	YPF PARAQUAT HD	PARAQUAT	III	27,6	SL	Lt
CHEMOTECNICA S.A.	WEEDOWT SL	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt

“Paraquat”

FORMULAGRO S.R.L.	BLOWOUT	PARAQUAT	II	27,6	SL	Lt
AGROCAC S.R.L.	FUEGO	PARAQUAT	III	27,6	SL	Lt
RURALCO SOLUCIONES S.A.	PARAQUAT RURALCO 27,6	PARAQUAT	III	27,6	SL	Lt
BIESTERFELD ARGENTINA S.A.	PARAQUAT BIESTERFELD	PARAQUAT	II	20	SL	Lt
SYNGENTA AGRO S.A.	CERILLO	PARAQUAT + DIURON	II	20+10	SC	Lt
RAINBOW AGROSCIENSES S.A.	RAINQUAT PLUS	PARAQUAT + DIURON	II	27,6+10	SC	Lt
RAINBOW AGROSCIENSES S.A.	COMQUAT	PARAQUAT + DIURON	II	27,6+10	SC	Lt
LDC ARGENTINA S.A.	PARAQUAT MACRO PROTECT	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
GENBRA ARGENTINA S.A.	TECNOQUAT I	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
GAVIGLIO COMERCIAL S.A.	LENA	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
EFEL S.A.S.	SINOQUAT	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
TECNOMYL S.A.	QUATERNION	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
SURCROPS S.R.L.	PARAQUAT SURCROPS 27,6	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
YPF S.A.	YPF PARAQUAT HF	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
LOS GROBO AGROPECUARIA S.A.	PARAQUAT LGA 27,6%	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
AGROFINA S.A.	PARAQUAT AGROFINA 27,6	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
COFCO INTERNATIONAL ARGENTINA S.A.	PARAQUAT ZAMBA	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
AGROINSUMOS B Y L S.A.	DELTAQUAT	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
LANTHER QUIMICA S.A.	PARAQUAT LANTHER	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
INSUMOS AGROQUIMICOS S.A.	PARAQUAT VELOCE	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
SHARDA CROP CHEM LIMITED SUC. EMP.EXT.	SHARDA QUAT	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
SHARDA CROP CHEM LIMITED SUC. EMP.EXT.	FIRE	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
FORMULAGRO S.R.L.	ANTORCHA	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt

“Paraquat”

SIPCAM ARGENTINA S.R.L.	PARAQUAT SUMAGRO SL	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
LANTHER QUIMICA S.A.	VOLCANO	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
PHILAGRO S.A.	LANCASTER 27,6	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
NUFARM S.A.	NUFARM PARAQUAT 27,6 RS	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
AGROEMPRESA COLON S.A.	PARAQUAT KEMSURE II	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6/20	SL	Lt
DVA AGRO GMBH	YUNCO	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
ENRIQUE M. BAYA CASAL S.A.	PARAQUAT 27,6 ARN EBC	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
AGRICULTORES FEDERADOS ARGENTINOS S.C.L.	EFIMAX PARAQUAT 27,6	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
AGROINSUMOS B Y L S.A.	PARAQUAT DELTA AGRO	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6/20	SL	Lt
INSUMOS AGROQUIMICOS S.A.	PARAQUAT VELOCE 27,6	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
CAMPO CROP S.A.	CAMPOQUAT	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
RURALCO SOLUCIONES S.A.	PARAQUAT RURALCO SL	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
AGROINSUMOS B Y L S.A.	PARAQUAT DELTA AGRO 27,6	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
PILARQUIM ARGENTINA S.R.L.	PILARXONE	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
WECAN AGRO S.A.	MACRO PROTECT PARAQUAT 27,6% SL	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
RAINBOW AGROSCIENSES S.A.	SUPERQUAT	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SG	Kg
SYNGENTA AGRO S.A.	ODERIS	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
DVA AGRO GMBH	FIREBALL SL	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
ROTAM DE ARGENTINA AGROQUIMICA S.R.L.	IGUAL 20 SL	PARAQUAT DICLORURO	II	27,6	SL	Lt
SIGMA AGRO S.A.	PARAQUAT XIAN	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6	SL	Lt
RAINBOW AGROSCIENSES S.A.	DALONG	PARAQUAT DICLORURO + DIURON	II	27,6	SC	Lt
GENBRA ARGENTINA S.A.	TECNOQUAT PLUD	PARAQUAT DICLORURO + DIURON	II	27,6+10	SC	Lt
ASOCIACION DE COOPERATIVAS	DOGO ACA 27,6 SL	PARAQUAT DICLORURO	III	27,6/20	SL	Lt

“Paraquat”

ARGENTINAS COOP.LTD.		EQUIVALENT E ACIDO				
TECNOMYL S.A.	TRENCH	PARAQUAT DICLORURO EQUIVALENT E ACIDO	III	27,6/20	SL	Lt
ADAMA ARGENTINA S.A.	GRAMOXONE	PARAQUAT DICLORURO EQUIVALENT E PARAQUAT	II	27,6/20	SL	Lt
ADAMA ARGENTINA S.A.	PARAQUAT 27,6 SL	PARAQUAT DICLORURO EQUIVALENT E PARAQUAT	II	27,6/20	SL	Lt
CHEMOTECNICA S.A.	GALGOQUAT	PARAQUAT DICLORURO EQUIVALENT E PARAQUAT	III	27,6/20	SL	Lt
SIGMA AGRO S.A.	PARAQUAT SIGMA	PARAQUAT DICLORURO EQUIVALENT E PARAQUAT	III	27,6/20	SL	Lt
NUTRIEN AG SOLUTIONS ARGENTINA S.A.	KEMAZON II	PARAQUAT EQUIVALENT E PARAQUAT	III	27,6/20	SL	Lt

TABLA 3. Efectos de paraquat en la biota.xlsx

ID	Principio activo	Pureza o formulación	Especie o comunidad estudiada	Grupo taxonómico	Edad o estadio de desarrollo	Tipo de ensayo	Renovación de la solución	Duración del ensayo (días)	nominal o real	Tipo de efecto	Bioindicadores/Biomarcadores	Puntos finales (NOEC, LOEC, EC, IC, LC)	Resultado	Rango de exposición (ppm)	Referencia	Grupo
1	paraquat		<i>Bryconamericus iheringii</i>	peces	adultos	<i>in vivo</i>	semiestático	2	nominal	mortalidad	sobrevida	CL50	24,17	10- 80	Di Marzio et. al. 1993	1-A
2	paraquat		<i>Bryconamericus iheringii</i>	peces	adultos	<i>in vivo</i>	semiestático	4	nominal	mortalidad	sobrevida	CL50	20,21	10- 80	Di Marzio et. al. 1993	1-A
3	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Cnesterodon decemmaculatus</i>	peces	adultos	<i>in vivo</i>	semiestático	2	nominal	mortalidad	sobrevida	CL50	17,07	5,6-24	Di Marzio et al 1994	1-A
4	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Cnesterodon decemmaculatus</i>	peces	adultos	<i>in vivo</i>	semiestático	4	nominal	mortalidad	sobrevida	CL50	9,41	5,6-24	Di Marzio et al 1994	1-A
5	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Plecostomus commersoni</i>	peces	alevines	<i>in vivo</i>	semiestático	2	nominal	mortalidad	sobrevida	CL50	5,2	0,6-20	Tortorelli et al 1990	1-A
6	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Plecostomus commersoni</i>	peces	alevines	<i>in vivo</i>	semiestático	2,5	nominal	mortalidad	sobrevida	CL50	5,2	0,6-20	Tortorelli et al 1990	1-A
7	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Cnesterodon decemmaculatus</i>	peces	adultos	<i>in vivo</i>	semiestático	2	nominal	subcelular	enzimático	actividad colinesterasa (aumento)	5,6	5,6-24	Di Marzio et al 1994	1-A
8	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Cnesterodon decemmaculatus</i>	peces	adultos	<i>in vivo</i>	semiestático	4	nominal	subcelular	enzimático	actividad colinesterasa (aumento)	5,6	5,6-24	Di Marzio et al 1994	1-A
9	paraquat		<i>Bryconamericus iheringii</i>	peces	adultos	<i>in vivo</i>	semiestático	60	nominal	subcelular	enzimático	actividad colinesterasa (aumento)	-	5- 15	Di Marzio et. al. 1993	1-A
10	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Plecostomus commersoni</i>	peces	alevines	<i>in vivo</i>	semiestático	2,5	nominal	individuo	alteraciones morfológicas	largo/ancho cuerpo	5	0,6-20	Tortorelli et al 1990	1-A
11	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Plecostomus commersoni</i>	peces	alevines	<i>in vivo</i>	semiestático	2,5	nominal	individuo	fisiológico	ventilación opercular	0,6	0,6-20	Tortorelli et al 1990	1-A
12	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Plecostomus commersoni</i>	peces	alevines	<i>in vivo</i>	semiestático	2,5	nominal	individuo	fisiológico	contracción cardíaca	1,3	0,6-20	Tortorelli et al 1990	1-A
13	paraquat	Gramoxone Super (27,6%)	<i>Scinax nasica</i>	anfibios	larvas	<i>in vivo</i>	semiestático	4	nominal	mortalidad	sobrevida	CL50	21,99	6,48-50	Lajmanovich et al 1998	1-A

TABLA 3. Efectos de paraquat en la biota.xlsx

14	paraquat	Gramoxone Super (27,6%)	<i>Scinax nasica</i>	anfibios	larvas	<i>in vivo</i>	semiestático	4	nominal	órgano	alteraciones morfológicas	morfología branquial	6,48	6,48-18	Lajmanovich et al 1998	1-A
15	paraquat	Pestanal ®	<i>Chaunus arenarum</i>	anfibios	embriones	<i>in vitro</i>		4	nominal	embriones	alteraciones morfológicas	desarrollo embrionario	25	2,5-1825	Mussi et al 2010	1-A
16	paraquat	Pestanal ®	<i>Chaunus arenarum</i>	anfibios	embriones	<i>in vitro</i>		4	nominal	subcelular	enzimático	actividad peroxidasa	-	2,5-1826	Mussi et al 2010	1-A
17	paraquat	Pestanal ®	<i>Chaunus arenarum</i>	anfibios	embriones	<i>in vitro</i>		4	nominal	subcelular	enzimático	actividad catalasa	-	2,5-1827	Mussi et al 2010	1-A
18	paraquat	Pestanal ®	<i>Chaunus arenarum</i>	anfibios	embriones	<i>in vitro</i>		4	nominal	subcelular	enzimático	actividad superoxido dismutasa (aumento)	25	2,5-1828	Mussi et al 2010	1-A
19	paraquat	Pestanal ®	<i>Chaunus arenarum</i>	anfibios	embriones	<i>in vitro</i>		4	nominal	subcelular	ADN	condensación de la cromatina	128	2,5-1828	Mussi et al 2010	1-A
20	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Daphnia Magna</i>	crustacea cladocera	<24hs	<i>in vivo</i>	estatico	1	nominal	inmovilidad	EC50		22.29	0,1 - 1,5	Alberti et al., 1994	2.A
21	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Daphnia Magna</i>	crustacea cladocera	<24hs	<i>in vivo</i>	estatico	2	nominal	inmovilidad	EC50		6.24	0,1 - 1,5	Alberti et al., 1994	2.A
22	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Daphnia Spinulata</i>	crustacea cladocera	<24hs	<i>in vivo</i>	estatico	1	nominal	inmovilidad	EC50		8.81	0,1 - 1,5	Alberti et al., 1994	2.A
23	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Daphnia Spinulata</i>	crustacea cladocera	<24hs	<i>in vivo</i>	estatico	2	nominal	inmovilidad	EC50		2.57	0,1 - 1,5	Alberti et al., 1994	2.A
24	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Daphnia Magna</i>	crustacea cladocera	<24hs	<i>in vivo</i>	estatico	1	nominal	inmovilidad	EC50		16.47	2-24,7	Alberdi et al. 1996	1.A
25	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Daphnia Magna</i>	crustacea cladocera	<24hs	<i>in vivo</i>	estatico	2	nominal	inmovilidad	EC50		4.55	2-24,7	Alberdi et al. 1996	1.A
26	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Daphnia Spinulata</i>	crustacea cladocera	<24hs	<i>in vivo</i>	estatico	1	nominal	inmovilidad	EC50		9.91	2-24,7	Alberdi et al. 1996	1.A
27	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Daphnia Spinulata</i>	crustacea cladocera	<24hs	<i>in vivo</i>	estatico	2	nominal	inmovilidad	EC50		2.57	2-24,7	Alberdi et al. 1996	1.A

TABLA 3. Efectos de paraquat en la biota.xlsx

28	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Hyalella Curvispina</i>	crustacea anfibodo	<i>in vivo</i>	estatico	1	nominal	mortalidad	CL50	5.98	DiMarzio et al., 1994	2-A
29	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 25oC	2	nominal	mortalidad	CL50	50	Della Penna 2004	2-A
30	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 25oC	3	nominal	mortalidad	CL50	29.7	Della Penna 2004	2-A
31	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 25oC	4	nominal	mortalidad	CL50	10	Della Penna 2004	2-A
32	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 25oC y arena	3	nominal	mortalidad	CL50	48.5	Della Penna 2004	2-A
33	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 25oC y arena	4	nominal	mortalidad	CL50	30	Della Penna 2004	2-A
34	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 20oC	2	nominal	mortalidad	CL50	17.5	Della Penna 2004	2-A
35	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 20oC	4	nominal	mortalidad	CL50	35.2	Della Penna 2004	2-A
36	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 20oC	7	nominal	mortalidad	CL50	11	Della Penna 2004	2-A
37	paraquat	Paraquat Puro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 20oC	2	nominal	mortalidad	CL50	32.4	Della Penna 2004	2-A
38	paraquat	Paraquat Puro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 20oC	4	nominal	mortalidad	CL50	62.5	Della Penna 2004	2-A
39	paraquat	Paraquat Puro	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligoqueto acuatico	<i>in vivo</i>	estatico 20oC	7	nominal	mortalidad	CL50	20.5	Della Penna 2004	2-A
40	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	<i>Biomphalaria Glabrata Pigmentado</i>	Molusco Gastropodo	<i>in vivo</i>	estatico 25oC	4	nominal	mortalidad	CL50	8.8	Della Penna 2004	2-A

TABLA 3. Efectos de paraquat en la biota.xlsx

41	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	<i>Biomphalaria Glabrata no-pigmentado</i>	Molusco Gastropodo	<i>in vivo</i>	estatico 25oC	4	nominal	mortalidad	CL50		2		Della Penna 2004	2-A
42	paraquat	Formulado comercial 27,6% Paraquat Dicloruro	zooplancton	40 taxa de Rotifera, Copepoda, Cladocera y testacea	<i>in vivo</i>	estatico	35	nominal	densidad de organismos	LOEC		0.1	3 pulsos de 0,1, 0,2, 0,4 y 0,8 (1 cada 8 dias)	Gnagneten 2002	1A
43	paraquat	Gramoxone 27.6%	zooplancton y zoobenthos	<u>Zooplancton</u> : 40 taxa de Rotifera, Copepoda, Cladocera y Testacea, <u>Zoobenthos</u> : 10 taxa de hirudinea, mollusca, oligochaeta	<i>in vivo</i>	estatico	60	nominal	abundancia y biomasa de organismos	LOEC		0.1	3 pulsos de 0,1, 0,2, 0,4 y 0,8 (1 cada 8 dias) + un cuarto pulso de doble concentración	Gnagneten y Marchese, 2003	2a
44	Paraquat dicloruro		<i>Caenorhabditis elegans</i>	nematoda	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	Estres oxidativo	Especies reactivas de oxigeno y ...	Aumento		500	Clavijo Lara, 2017	2-A
45	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus acutus SAG276-3A</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	1	nominal	inhibición del crecimiento	EC50		1.95	0.01 - 0.8	Saenz et al.,1993	1-A
46	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus acutus SAG276-3A</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	2	nominal	inhibición del crecimiento	EC50		0.43	0.01 - 0.8	Saenz et al.,1993	1-A
47	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus acutus SAG276-3A</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	3	nominal	inhibición del crecimiento	EC50		0.058	0.01 - 0.8	Saenz et al.,1993	1-A
48	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus acutus SAG276-3A</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	EC50		0.047	0.01 - 0.8	Saenz et al.,1993	1-A
49	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus quadricauda (cepa autoctona Rio Lujan)</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	EC50		0.32		Saenz et al.,1994	2-A
50	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus quadricauda CAP271/21 (cepa estandar)</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	EC50		1.3	0.1-3.2	Saenz et al., 1997	1-A
51	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus quadricauda CAP271/21 (cepa estandar)</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	NOEC		0.4	0.1-3.3	Saenz et al., 1997	1-A
52	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus quadricauda CAP271/21 (cepa estandar)</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	LOEC		0.8	0.1-3.4	Saenz et al., 1997	1-A
53	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus quadricauda (cepa autoctona Rio Lujan)</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	EC50		0.22	0.05-1.6	Saenz et al., 1997	1-A

TABLA 3. Efectos de paraquat en la biota.xlsx

54	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (cepa autoctona Rio Lujan)	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	NOEC	0.05	0.05-1.7	Saenz et al., 1997	1-A
55	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (cepa autoctona Rio Lujan)	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	LOEC	0.1	0.05-1.8	Saenz et al., 1997	1-A
56	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Chlorella vulgaris</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	EC50	0.14	0.1-3.2	Saenz et al., 1997	1-A
57	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Chlorella vulgaris</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	NOEC	0.02	0.1-3.2	Saenz et al., 1997	1-A
58	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Chlorella vulgaris</i>	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	LOEC	0.05	0.1-3.2	Saenz et al., 1997	1-A
59	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Selenastrum capricornutum</i> CHL1	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	EC50	0.67	0.1-3.2	Saenz et al., 1997	1-A
60	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Selenastrum capricornutum</i> CHL1	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	NOEC	0.1	0.1-3.2	Saenz et al., 2002	1-A
61	paraquat	Osaquat ® (27,6%)	<i>Selenastrum capricornutum</i> CHL1	algae	<i>in vivo</i>	estatico	4	nominal	inhibición del crecimiento	LOEC	0.2	0.1-3.2	Saenz et al., 2003	1-A
62	paraquat	Formulado Nufarm	<i>Spartina densiflora</i>	macrofita	<i>in vivo</i>	estatico	2h	nominal	daño oxidativo	NOEC	1000	10, 100 y 1000	Lukaszewicz et al., 2010	4-A

Referencia completa	Categoría RSA*	Tipo de publicación / documento	Fuente	OBJETIVO	Población
1 Altamirano J.E.; Franco R.; Bovi Mitre	C1-I	Publicación técnica	Revista	Objetivo	trabajadores
2 Arbeláez M.P., Henao S. (2004)	C1-I	Documentos	Organiza	Esta	-
3 Baharuddin, M. R. B., Sahid, I. B., Noor,	C1-I	Publicación técnica	Journal	The aim of	Registered
4 Berry, C., La Vecchia, C., Nicoreta P. (20	C1-I	review	Cell	This review	-
5 Butinof, M., Fernandez, R. A., Stimolo, P	C1-I	Publicación técnica	Caderno	El objetivo	Aplicadores
6 Butinof, M., Fernández, R. A., Lerda,	C1-I	Publicación técnica	Gac	El objetivo de	Aplicadores
7 Cha, E. S., Lee, Y. K., Moon, E. K., Kim,	C1-I	Publicación técnica	Occup	to investigate	full-time
8 Díaz-Criollo, S., Palma, M., Monroy-	C1-I	Publicación técnica	Industria	it was	volunteer
9 Duan, Y. Y., & Wang, Z. (2016). To	C1-I	Publicación técnica	Int J Artif	The incidence	Children
10 Elenga, N., Merlin, C., Le Guern, R.,	C1-I	Publicación técnica	Medicine	to analyze all	From the 1st
11 Feng, M. X., Li, Y. N., Ruan, W. S., & Lu,	C1-I	Publicación técnica	Scientific	We explored	Patients with
12 Franchini, G.; Butinof, M.; Blanco, M.; N	C1-I	Publicación técnica	Acta	The aim of	The GBCC is
13 Furlong, M., Tanner, C.M., Goldman,	C1-I	Publicación técnica	Environ	Pesticides	The Farming
14 Gao, Y., Guo, S., Wang, Y., Yu, S.,	C1-I	Publicación técnica	Human	to	who
15 García S. (2016). La vigilancia de las	C1-I	review	Acta	En esta	-
17 Goldner, W. S., Sandler, D. P., Yu, F.,	C1-I	Publicación técnica	America	Given the	Pesticide
18 Gunantilake, S., Seneff, S. & Orlando, L.	C1-I	review	Int. J.	Here, we	-
19 Henneberger, P. K., Liang, X., London,	C1-I	Publicación técnica	Int Arch	We	AHS
20 Hernández, J., Contreras Zúñiga, E., &	C1-I	Publicación técnica	Acta	descripción	Paciente
21 Hossain, F., Ali, O., D'Souza, U. J. A., &	C1-I	Publicación técnica	J Occup	A cross-	male farmers
22 Jones, B.C., Huang, X. Mailman, R.B.,	C1-I	review	J	to review the	-
23 Kamel, F., Goldman, S. M., Umbach, D.	C1-I	Publicación técnica	Parkinso	we used	the Farming
24 Kim, J., Ko, Y., & Lee, W. J. (2013).	C1-I	Publicación técnica	Occup	to explore	a nationwide
25 Konthonbut, P., Kongtip, P.,	C1-I	Publicación técnica	Int. J.	To date, this	Pregnant
26 Koureas, M., Rachiotis, G., Tsakalof, A.,	C1-I	Publicación técnica	Int. J.	to identify	the study
27 Lebov, J.F., Engel, L.S., Richardson, D.,	C1-I	Publicación técnica	Occup	We	the AHS
28 Liou, H.H., Tsai, M.C., Chen, C.J., Jeng,	C1-I	Publicación técnica	Neurolog	the	One
30 Mena, C.: Bettini, M.; Cerda, P.;	C1-I	Publicación técnica	Rev Méd	Analizar los	Se revisaron
31 Morano A., Jimenez-Jimenez F.J., Molin	C1-I	Publicación técnica	ACTA	We	We studied
32 Oghabian Z., Williams J., Mohajeri M., N	C1-I	Publicación técnica	Journal	The aim of	PQ-poisoned
33 Organización Panamericana de la Salud	C3-I	Documentos	OMS	identificar	-
35 Ramos-Gutierrez, R.Y., Real-Ornelas,	C1-I	Publicación técnica	Acta	El objetivo de	Caso clínico
36 Song, Y., Li, C., Luo, F., & Tao, Y.	C1-I	Publicación técnica	Journal	This study	Children with
37 Tang, Y., Hu, L., Hong, G., Zhong, D.,	C1-I	Publicación técnica	Toxicolo	we compared	All patients
38 Trakulsrichai, S., Krongvorakul, J.,	C3-I	Letter to the Editor	Asia	Here, we	CASE 1: A 7-
39 Trakulsrichai, S., Paisanrodjanarat, B.,	C1-I	Publicación técnica	CLINICAL	This study	a 5-year
41 Vaccari, C., El Dib, R., Gomaa, H., Lopes,	C1-I	Publicación técnica	Journal	This	-
42 Viale Lopez, G. (2014). Revisión Bibliogr	C1-I	Publicación técnica	Medicina	descripción	-
43 Waggoner, J. K., Henneberger, P. K.,	C1-I	Publicación técnica	Int Arch	Our	The AHS is a
44 Wang, A., Costello, S., Cockburn, M.,	C1-I	Publicación técnica	Eur J	For the first	PD cases
45 Wang, X., Zhang, M., Ma, J., Zhang, Y.,	C1-I	Publicación técnica	Biol.	In this study,	There were
46 Wegman D, Crowe J, Hogstedt C, Jakob:	C2-I	Documentos	Nefropat	En el primer	documentos
47 Wunnapuk, K., Mohammed, F.,	C1-I	Publicación técnica	British	The aims of	The subjects

Tamaño de la muestra	Diseño del estudio	Plaguicidas evaluados	Metodología evaluación exposición	Efecto evaluado / metodologías	Genotoxicidad / daño	Neurotoxicidad	Teratogenicidad y
casos: 399	transversal	organofosfor	El modelo	a través de	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
exposed group:	caso control	2,4-D and PQ	Personal air	By an initial	-	-	-
-	-	PQ	-	Parkinson's	-	The	-
Casos: 880	transversal	49 pesticidas	El	Se analizaron	-	-	-
99 sujetos de los	transversal -	50 pesticidas	se valoró el	muestras de	las	-	-
aplicadores:	caso control	PQ	The interview	Data for this	-	-	-
217	transversal	Given that	Urine	Information	-	-	-
146	transversal	PQ	Details	On	-	-	-
62	transversal	PQ	patients with	We collected	-	-	-
171	caso control	PQ	The semi-	with medical	-	-	-
101	transversal	numerosos	For the	A semi-	-	-	-
casos: 69	caso control -	31 pesticides	The complete	Information	-	Overall, in	-
n= 130	caso control	PQ	Baseline data	Hemoperfusi	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
16,529	cohorte -	50 pesticides	In phase I,	In addition to	-	-	-
-	-	-	-	Chronic	-	-	-
926	cohorte	36 pesticides	we created a	All	-	-	-
1	reporte de	PQ	consumo	Se le realizó	-	-	-
152	transversal -	Pq,	Personal	All semen	-	-	-
-	-	-	-	Sporadic	-	The NIEHS	-
89 cases and	cohorte	paraquat and	Occupational	Exposures	-	As	-
1895	transversal -	numerosos.	Subjects	The main	-	-	-
79	longitudinal	Paraquat	If you are	At their 28th	-	-	-
Casos: 80	caso control	chlorpyriphos	a detailed	Sociodemogr	-	-	-
Expuestos:	cohorte -	50 pesticides	In the	We identified	-	-	-
casos: 120	caso control	numerosos	Information	Age at the	-	In the	-
Un total de	cohorte	numerosos	La	Los	-	-	-
casos: 74	caso control	numerosos	A	A	-	Rural	-
casos: 126	transversal	PQ	patients with	evolución	-	-	-
-	-	numerosos	ingesta	La Oficina del	-	-	-
2	reporte de	PQ	ingreso a	control	-	-	-
110	transversal	PQ	Acute	Immediately	-	-	-
96 PQ-poisoned	caso control	PQ y	When PQ- or	When PQ- or	-	-	-
2	reporte de	PQ	CASE 1: The	CASE 1: Both	-	-	-
36	transversal	PQ	The diagnosis	The data of	-	-	-
-	review	PQ	-	Parkinson's	-	In	-
-	-	PQ	-	-	-	-	-
51,035	caso control -	50 pesticides	The	Deaths were	-	-	-
Casos: 362	caso control	maneb,	Employing	For all study	-	When	-
Casos: 15	caso control	PQ	The plasma	The plasma	-	-	-
16	review	numerosos	-	Enfermedad	-	-	-
78	transversal	PQ	Paraquat	Demographic	-	-	-

Resultados	Disrupción	Salud	Daño	**Clasifica	Clasificación de	Clasificación regulatoria de
Cáncer	endrócina	Reproducti	Renal o	ción según	peligrosidad según	efectos en la salud humana
					sistema GHS	según la OSHA (USA)
-	-	-	Manifesta	2	H301: Tóxico si se	-
-	-	-	Al igual	0	H301: Tóxico si se	-
-	-	-	No	5	H311: Tóxico en	HE10 – Efectos respiratorios
-	-	-	-	0	-	HE7 – Trastornos de Sistema
-	-	-	El estudio	4	H315: Causa	Irritación de piel - clase 2
-	-	-	se	6	H372: Causa daños	HE10 – Efectos respiratorios
-	-	-	The risks	4	H335: Puede causar	HE10 – Efectos respiratorios
-	-	-	The	8	H335: Puede causar	HE10 – Efectos respiratorios
-	-	-	A total of	3	H301: Tóxico si se	-
-	-	-	Sixty-two	3	H301: Tóxico si se	HE10 – Efectos respiratorios
-	-	-	53	7	H301: Tóxico si se	HE10 – Efectos respiratorios
-	-	-	This	4	-	-
-	-	-	-	6	-	HE7 – Trastornos de Sistema
-	-	-	a total of	6	H301: Tóxico si se	-
-	-	-	En el año	0	H301: Tóxico si se	-
-	Using	-	-	6	H372: Causa daños	-
-	-	-	A global	0	H372: Causa daños	-
-	-	-	A total of	6	H335: Puede causar	HE10 – Efectos respiratorios
-	-	-	Se	3	H301: Tóxico si se	-
-	-	Sperm	-	5	H372: Causa daños	HE5 – Reproducción -
-	-	-	-	0	-	HE7 – Trastornos de Sistema
-	-	-	-	6	-	HE7 – Trastornos de Sistema
-	-	-	Chronic	5	-	-
-	-	During	-	8	H372: Causa daños	HE5 – Reproducción -
-	-	-	Multinom	8	H335: Puede causar	HE10 – Efectos respiratorios
-	-	-	More	6	H372: Causa daños	-
-	-	-	-	4	-	HE7 – Trastornos de Sistema
-	-	-	La	6	H301: Tóxico si se	-
-	-	-	-	4	-	HE7 – Trastornos de Sistema
-	-	-	61	4	H301: Tóxico si se	-
-	-	-	Se	0	H301: Tóxico si se	-
-	-	-	CASO 1:	0	H301: Tóxico si se	-
-	-	-	In	5	H301: Tóxico si se	-
-	-	-	The PQ-	6	H372: Causa daños	-
-	-	CASE 1:	They and	0	H372: Causa daños	HE5 – Reproducción -
-	-	Obstetric	All cases	5	H301: Tóxico si se	HE5 – Reproducción -
-	-	-	-	0	-	HE7 – Trastornos de Sistema
-	-	-	Al ser un	0	H301: Tóxico si se	HE10 – Efectos respiratorios
-	-	-	Among	6	-	-
-	-	-	-	4	-	HE7 – Trastornos de Sistema
-	-	-	The	6	H372: Causa daños	-
-	-	-	Los	0	H372: Causa daños	-
-	-	-	They	6	-	-

**Comentarios /
Observaciones**

The Farming and

AHS cohort

AHS cohort

tiene más
AHS cohort

Agricultural Health

$p < 0.05$ para 19 de
the most important

la figura 1 es Clinical

AHS cohort



Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible
Argentina

